

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:  
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
LODOS ACTIVOS PARA LA COMUNIDAD DE PAQUIESTANCIA**

**AUTORAS:  
ESPINOSA ENRÍQUEZ LUCÍA ANAHÍ  
LIZANO VERNIS KAREN ESTEFANÍA**

**TUTOR:  
RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO**

**Quito, marzo del 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Lucía Anahí Espinosa Enríquez con documento de identificación N° 175309411-7 y Karen Estefanía Lizano Vernis con documento de identificación N° 171840205-8, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVOS PARA LA COMUNIDAD DE PAQUIESTANCIA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Lucía Anahí Espinosa Enríquez  
175309411-7



---

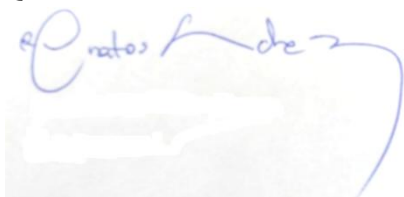
Karen Estefanía Lizano Vernis  
171840205-8

Marzo, 2020

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVOS PARA LA COMUNIDAD DE PAQUIESTANCIA** realizado por Lucía Anahí Espinosa Enríquez y Karen Estefanía Lizano Vernis, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2020



---

Renato Gabriel Sánchez Proaño  
Cédula: 1715542401

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación principalmente a mis padres, que son lo más valioso que tengo en la vida. Gracias a su esfuerzo, dedicación y enseñanzas me han permitido culminar una meta más en mi formación profesional, son mi ejemplo a seguir y mi mayor orgullo, le agradezco a Dios por tenerlos cada día a mi lado. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanas que han estado presentes para aconsejarme y guiarme cuando lo he necesitado, brindándome su cariño y apoyo incondicional. Pienso que no existen mejores hermanas. Las adoro.

También a mis sobrinos que son un tesoro para mí, por acompañarme en mis tardes y noches largas de estudio cuando tenían vacaciones escolares ☺. Les quiero decir que se esfuercen por alcanzar sus metas, yo siempre estaré ahí para ustedes.

A mi otra mitad, mi mejor amigo, mi confidente, la persona que ha estado presente en cada día, escuchándome, dándome ánimos, aconsejándome y ayudándome en todos estos años académicos, gracias por enseñarme tanto, mi futuro colega. Me llena de alegría saber que vamos alcanzando uno de los tantos sueños y metas que tenemos juntos. Te amo Andy.

Para mi amiga Eli que aun en la distancia me ha brindado su apoyo y ánimos.

Dedico a Karen, mi dupla en este camino a la titulación, ambas durante estos años hemos aprendido a ponerle mucho esfuerzo y dedicación a nuestra carrera; eres alguien muy especial en mi corazón y me siento afortunada de contar con una amiga tan extraordinaria como tú en mi vida. Te quiero mucho.

"Sé el cambio que quieres ver en el mundo"

Lucía Anahí Espinosa Enríquez

Como no dedicarle este momento exclusivo a mi amado Dios gracias a su fidelidad he logrado alcanzar una meta propuesta, su enseñanza humana y profesional me ha llevado a comprender lo importante de la constancia en mi vida.

Mi querido Esposo Jordy se merece también esta dedicatoria, amado mío gracias a tu ejemplo y amor hemos culminado este sueño juntos, siempre edificándonos el uno al otro. Su gran amor, perseverancia y esfuerzo han aportado de gran manera en la calidad humana, espiritual y profesional de mi feliz vida. Te amo cielo.

Mis padres y hermanos que son el pilar de mi existencia con su amor, paciencia, valores y cariño han sido un papel importante en cada una de mis decisiones y más aún en la búsqueda profesional, que me ayuda a ser un aporte a su felicidad. Un ejemplo de hombre conforme al corazón de Dios que me ayudo a forjar este camino es el ser amado que conoce mucho de mí es Edison O, mi tío al cual también quiero dedicar esta alegría en mí.

No dejare atrás a cada una de las personas que me acompañaron en el camino Anahi fiel compañera y amiga gracias a su comprensión y cariño que han fomentado mi camino de vida. Además, a Samy y Maury amigos y compañeros que compartimos muy bellos momentos en esta etapa de la vida.

Dios es bueno todo el tiempo porque todo el tiempo Dios es bueno, con sincero amor.

Karen Estefanía Lizano Vernis

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por guiarnos en cada paso de nuestra vida, brindándonos salud, fuerza y empeño en estos años académicos. Además, por forjar nuestro camino de enseñanza y lograr culminar uno de nuestros sueños anhelados en el ámbito profesional.

Agradecemos a nuestro tutor el Ingeniero Renato Sánchez por la constante dedicación y empeño en la guía, seguimiento y enseñanza, desde el comienzo y hasta el final de la investigación. Conjuntamente queremos agradecer la gestión admirable realizada por el Ingeniero Lenyn Pulamarín con la comunidad, también por ayudarnos, aconsejarnos y permitirnos el uso de equipos y materiales del laboratorio de SIG.

Un especial agradecimiento a la Comunidad Paquiestancia por la confiable, y sincera acogida que nos permitió llevar a cabo la realización del trabajo experimental. Además, al Sr. Fernando Conlago presidente de la Comunidad por su coordinación eficaz con la Sra. Aida Ulguan y Esposo que gracias a su dirección llegamos a obtener la información deseada para el trabajo, su vasta experiencia pudo aportar de manera significativa en nuestro objetivo alcanzado.

Asimismo, un cordial agradecimiento a las personas de laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur y Campus Cayambe que permitieron que se lleven a cabo los análisis de laboratorio requeridos para el trabajo experimental por su trato cordial y amigable.

Agradecemos de manera especial a nuestros amigos: Maury, Sami, Andre, Karen, Albita, Jessy, Alan, Kevin, Richi, Brian y Eli, por todos los momentos compartidos y apoyo mutuo a seguir adelante. Agradecemos también con todo nuestro corazón a Andy y Jordy.

Anahí Espinosa y Karen Lizano

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	8
2.1    Objetivo General	8
2.2    Objetivos Específicos	8
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	9
3.1    Actividades antropogénicas	9
3.1.1    Fuentes de contaminación del agua (comunidad) actividad agrícola, ganadera, florícola y doméstica.	9
3.2    Proyección de la población	11
3.3    Conceptos fundamentales para aplicar.	11
3.3.1    El agua	11
3.3.2    Caudal	13
3.3.2.1    Medición de caudales	13
3.3.3    Muestreo de agua	14
3.3.4    Flujo turbulento	15
3.3.5    Caracterización de componentes de agua residual	15
3.4    Marco legal	18
3.4.1    Constitución de la república del ecuador	18
3.4.2    Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.	20
3.4.3    Ley orgánica de la salud	20
3.4.4    Ley de gestión ambiental	21
3.4.5    Acuerdo N° 061	21
Reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente	21
3.4.6    Acuerdo 097A Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: recurso agua.	22
3.4.7    Norma técnica para el control de descargas líquidas	24
3.5    Tratamiento de agua residual	26
3.5.1    Operaciones unitarias	26
3.6    Sistemas de alcantarillado	29
3.6.1    Tipos de sistemas	29
3.6.2    Diseño del sistema	30
3.7    Sistema de tratamiento	30
3.7.1    Pretratamiento	30
3.7.2    Tratamiento primario	31

3.7.3	<i>Tratamiento secundario</i>	31
3.7.4	<i>Fosa séptica</i>	31
3.7.5	<i>Tratamiento por Lodos Activos</i>	31
3.8	Estudio topográfico	34
3.8.1	<i>Levantamiento topográfico</i>	34
3.9	Línea base	34
3.10	Levantamiento de Información	34
3.10.1	<i>Clima</i>	34
3.10.2	<i>Hidrología</i>	34
3.10.3	<i>Estado de las fuentes y caudales</i>	35
3.10.4	<i>Fuentes de abastecimiento de agua</i>	35
3.10.5	<i>Caudales por sectores, superficie con y sin riego</i>	35
3.10.6	<i>Almacenamiento de agua</i>	35
3.10.7	<i>Características del suelo</i>	36
3.10.7.1	<i>Tipo de Suelo</i>	37
3.10.7.2	<i>Uso de suelo</i>	37
3.10.7.3	<i>Actividad productiva</i>	38
3.10.7.4	<i>Salud</i>	38
3.10.8	<i>Riesgos Naturales</i>	39
3.11	Estado actual de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual	39
3.11.1	<i>Población servida</i>	39
3.11.2	<i>Infraestructura</i>	39
3.11.3	<i>Funcionamiento</i>	47
3.12	Población sin servicio de alcantarillado y tratamiento de Agua residual	51
<b>4.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	52
4.1	Materiales	52
4.1.1	<i>Materiales utilizados en la fase de muestreo</i>	52
4.1.2	Materiales utilizados en el análisis de laboratorio	52
5.2	Equipos utilizados	53
4.2	Métodos	54
4.2.1	<i>Campo</i>	54
4.3	<i>Laboratorio</i>	56
4.4	<i>Diseño</i>	60
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	85
5.1	Resultados	85
5.1.1	Parámetros básicos de calidad	85



5.1.2	Sólidos sedimentables .....	86
5.1.3	Nutrientes en el agua residual.....	87
5.1.4	Cargas contaminantes DBO <sub>5</sub> y DQO.....	88
5.1.5	Oxígeno Disuelto de la comunidad de Paquiestancia .....	88
5.1.6	Coliformes totales y fecales .....	90
5.1.7	Resultados de Diseño de la PTAR de lodos activos .....	91
5.1.8	<i>Dimensiones</i> .....	91
5.1.9	<i>Criba</i> .....	91
5.1.10	<i>Sedimentador Primario</i> .....	92
5.1.11	<i>Trampa de grasa</i> .....	93
5.1.12	<i>Sistema de Aireación</i> .....	94
5.1.13	<i>Tanque de Aireación</i> .....	94
5.1.14	<i>Sedimentador Secundario</i> .....	95
5.1.15	<i>Tanque de cloración</i> .....	96
5.1.16	<i>Cantidad de cloro</i> .....	97
5.1.17	<i>Lecho de secado de lodos</i> .....	98
5.1.18	<i>Dimensionamiento Sanitario</i> .....	99
5.1.19	Dimensiones de nuevos tanques .....	99
5.2	Discusión .....	100
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>102</b>
6.1	Conclusiones .....	102
6.2	Recomendaciones.....	103
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>104</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>112</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la ubicación de las Plantas de Tratamiento en la Comunidad de Paquiestancia. ....	6
Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	23
Tabla 3. Límites máximos permisibles por cuerpo receptor. ....	25
Tabla 4. Procesos físicos unitarios. ....	27
Tabla 5. Procesos químicos unitarios. ....	28
Tabla 6. Procesos biológicos unitarios. ....	28
Tabla 7. Reservorios por sectores de riego en la Junta. ....	36
Tabla 8. Población con servicio de agua tratada. ....	39
Tabla 9. Medidas PTAR 1 en metros. ....	40
Tabla 10. Medidas de la PTAR 2 en metros (Fierro Templado). ....	42
Tabla 11. Medidas de la PTAR 3 en metros. ....	44
Tabla 12. Medidas de la PTAR 4 en metros (San Miguel). ....	46
Tabla 13. Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 1 ....	47
Tabla 14. Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 2 ....	48
Tabla 15. Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 3 ....	49
Tabla 16. Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 4 ....	50
Tabla 17. Los materiales utilizados en la fase de campo. ....	52
Tabla 18. Materiales utilizados en el análisis de laboratorio. ....	53
Tabla 19. Equipos utilizados. ....	53
Tabla 20. Características de rejillas de barras. ....	64
Tabla 21. Tasa de lodos activos Tesis Ayora. ....	80
Tabla 22. Cálculos para la determinación de tasa de lodos activos. ....	80
Tabla. 23. Criterios para el diseño de lecho de secado de arena. ....	82
Tabla 24. Resultados de análisis de agua residual de cada planta de tratamiento. ....	85
Tabla 25. Sólidos sedimentables Planta 1. ....	86
Tabla 26. Sólidos sedimentables Planta 2. ....	86
Tabla 27. Sólidos sedimentables Planta 3. ....	86
Tabla 28. Sólidos sedimentables Planta 4. ....	87
Tabla 29. Resultados de nutrientes de cada PTAR. ....	87
Tabla 30. DQO plantas de la Comunidad Paquiestancia. ....	88
Tabla 31. DBO plantas de la Comunidad Paquiestancia. ....	88
Tabla 32. Oxígeno disuelto Planta 1. ....	88
Tabla 33. Oxígeno disuelto Planta 2. ....	89
Tabla 34. Oxígeno disuelto Planta 3. ....	89
Tabla 35. Oxígeno disuelto Planta 4. ....	90
Tabla 36. Coliformes totales y fecales ....	90
Tabla 37. Dimensiones de la criba. ....	91
Tabla 38. Dimensiones del sedimentador primario. ....	92
Tabla 39. Dimensiones para la trama de grasas. ....	93
Tabla 40. Dimensiones del sistema de aireación. ....	94
Tabla 41. Dimensiones tanque aireador. ....	94
Tabla 42. Dimensiones del sedimentador secundario. ....	95
Tabla 43. Dimensiones del tanque de cloración. ....	96
Tabla 44. Cantidad de cloro. ....	97
Tabla 45. Dimensiones del lecho de secado de lodos. ....	98

Tabla 46. Dimensiones tubería.....	99
Tabla 47. Dimensiones tanque planta 1.....	99
Tabla 48. Dimensiones tanques planta 2.....	100
Tabla 49.Dimensiones tanques planta 3.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa geográfico de la comunidad Paquiestancia. ....	4
<b>Figura 2</b> Comunidad de Paquiestancia- Vista Satelital. ....	5
<b>Figura 3</b> Ubicación geográfica de las plantas de tratamiento en la Comunidad Paquiestancia. ....	6
<b>Figura 4</b> Método volumétrico para caudales menores a 4 l/s. ....	14
<b>Figura 5</b> Esquema del proceso convencional de lodos activados. ....	32
<b>Figura 6</b> Diagrama Planta 1 comunidad Paquiestancia. ....	40
<b>Figura 7</b> Dibujo de la fosa séptica de la PTAR 1. ....	41
<b>Figura 8</b> Diagrama Planta 2 comunidad Paquiestancia ....	41
<b>Figura 9</b> Dibujo de la fosa séptica de la PTAR 2. ....	43
<b>Figura 10</b> Diagrama planta 3 comunidad Paquiestancia.....	43
<b>Figura 11</b> Dibujo del canal parshall y fosa séptica de la PTAR 3. ....	44
<b>Figura 12</b> Diagrama Planta 4 comunidad Paquiestancia. ....	45
<b>Figura 13</b> Dibujo del canal parshall y fosa séptica de la PTAR 4. ....	47
<b>Figura 14</b> Número de habitantes vs año. ....	61
<b>Figura 16</b> Criba. ....	91
<b>Figura 17</b> Sedimentador primario. ....	92
<b>Figura 18</b> Trampa de Grasas. ....	93
<b>Figura 19</b> Sistema de aireación, tanque aireador. ....	95
<b>Figura 20</b> Sedimentador secundario. ....	96
<b>Figura 21</b> Tanque de cloración.....	97
<b>Figura 22</b> Tanque de Lecho de secados. ....	98
<b>Figura 23</b> Plano Planta 1 incorporación de nuevos tanques. ....	121
<b>Figura 24</b> Plano Planta 2 incorporación de nuevos tanques. ....	122
<b>Figura 25</b> Plano Planta 3 incorporación de nuevos tanques. ....	122
<b>Figura 26</b> Plano, Criba y sedimentador primario. ....	123
<b>Figura 27</b> Plano, Sistema de aireación y tanque aireador. ....	123
<b>Figura 28</b> Plano, Trampa de grasas y sedimentador secundario. ....	124
<b>Figura 29</b> Plano tanque de cloración y lecho de secados.....	124
<b>Figura 30</b> Plano de Planta de tratamiento de lodos activos Comunidad Paquiestancia. ....	125
<b>Figura 31</b> Plano perfil topográfico y flujo de procesos. ....	125

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de la investigación realizada. ....	112
Anexo 2. Planos Plantas de Tratamiento Paquiestancia con nuevos tanques. ....	121
Anexo 3. Planos de Planta de Tratamiento de Lodos Activos. ....	122
Anexo 4. Plano del perfil topográfico del lugar en donde se construirá la PTAR de lodos activos. .....	125

## **RESUMEN**

La gestión inadecuada del recurso agua, en el tratamiento de agua residual con el paso del tiempo se ha convertido en una problemática ambiental evidente en Latinoamérica específicamente en el Ecuador, debido a los altos índices de pobreza, además de la falta de salubridad y servicios básicos a nivel rural. Al formar una estrategia de alianza entre el sector académico y la comunidad se busca mitigar esta problemática con la mejora de la calidad de vida de los habitantes.

La comunidad de Paquiestancia que está ubicada en la provincia de Pichincha, en el cantón Cayambe, parroquia San José de Ayora, en la actualidad cuenta con cuatro plantas de tratamiento (fosas sépticas), que fueron auditadas para conocer su funcionamiento.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Residual de lodos activados, mediante: la caracterización del agua residual en la Comunidad de Paquiestancia, mediante la obtención de los parámetros de calidad tanto en la fase de campo como en el laboratorio, el dimensionamiento de las estructuras de la planta, el diseño de sistemas sanitario y la topografía del terreno.

Como resultados de la presente investigación se generaron los planos de La Planta de Tratamiento de Agua Residual de lodos activados con el dimensionamiento de cada una las estructuras como: criba, sedimentador primario, trampa de grasas, sedimentador secundario, sistema de aireación, tanque de cloración y lecho de secados. y adicionalmente los planos con el dimensionamiento de tanques que mejoran el funcionamiento de las plantas existentes en la comunidad.

## **ABSTRACT**

The inadequate management of the natural resource water, in the treatment of residual water with the passage of the time has become in an environmental issue evident in Latin America specifically in Ecuador, because of the high poverty rates, also of the lack of health and basic services at rural level. By forming an alliance strategy between the academic sector and the community we want to mitigate this issue improving the quality of life of the population.

The Paquiestancia community is located at the Pichincha province, Cayambe canton, San José de Ayora parish, actually has four treatment plants (septic tanks), that were audited to know their operation.

The objective of this investigation is to design a Wastewater Treatment Plant of activated sludge, through: the characterization of wastewater in the Community of Paquiestancia, by obtaining quality parameters both in the field phase and in the laboratory, the dimensioning of the structures from the plant, the design of sanitary systems and the topography from the land.

As results of this investigation it were made the construction plans of the Wastewater Treatment Plant of activated sludge with the dimensioning of each one of the structures such as: sieve, primary settler, grease trap, secondary settler, aeration system, chlorination tank and drying bed. And additionally the plans with the sizing of tanks that improve the operation of existing plants in the community.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS**

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo.

N: Nitrógeno.

OD: Oxígeno disuelto.

pH: potencial Hidrógeno.

POR: Potencial de Óxido Reducción.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

SST: Sólidos Suspendidos Totales.

SS: Sólidos Sedimentables.

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles.

ST: Sólidos Totales.

TULSMA: Texto Unificado de Legislación del Ministerio del Ambiente.

CEPAL: Comisión económica para América Latina.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

CIDEAD: Centro de Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos.



SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SENAGUA: Secretaría Nacional del Agua.

SICA: Sistema de Integración Centroamericana.

UNISSMA: Unidad de Seguridad, Salud Ocupacional y Ambiental.

WWAP: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

A nivel global con el crecimiento de la población mundial, la urbanización, industrialización, alta producción y consumo de productos se ha desarrollado una elevada demanda de agua dulce, que llegara a un déficit del 40% para el año 2030. Los impactos ambientales que se generan a partir del mal uso del agua y su deficiente tratamiento provocan escases del recurso (WWAP, 2015)

En el Ecuador la generación de aguas residuales se han convertido en una problemática ambiental, salubre, económica y social debido al inadecuado saneamiento del recurso agua. Si el agua residual es devuelta al entorno natural sin un tratamiento previo, provoca una serie de impactos ambientales a nivel nacional, afectando a la flora, fauna y al ser humano. Por lo tanto, la descarga de las aguas residuales afecta directamente a los cuerpos de agua (ríos, lagos y lagunas) (IAGUA, 2017).

En el país se ha realizado un trabajo continuo en mejorar la calidad del agua, logrando en el 2016 que aproximadamente el 85,9% de la población total obtenga este recurso de plantas de tratamiento que proveen un nivel básico de saneamiento para el uso del agua en el hogar (INEC, 2018). Puesto que el incremento de las actividades productivas tales como la agricultura y ganadería, incitan la contaminación del agua por el uso de pesticidas y agrotóxicos cuyos residuos líquidos no son gestionados adecuadamente (INEC, 2018). Por ello se ha considerado delegar esta gestión de Agua Potable y alcantarillado a los GAD'S Municipales en busca de una mejora de la calidad de vida de los habitantes en el país. Un 63,3% de GADS municipales constan con un sistema de tratamiento previo a la descarga final, mientras que un 32,6% no lo realiza (INEC, 2018).

La provincia de Pichincha ha aportado con la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual previo a su descarga en los ríos, quebradas y acequias. Según

Terán & Cando (2016), en la provincia se concentran alrededor del 50% al 75% de GADS municipales que implementaron plantas de tratamiento, como en los cantones Pedro Vicente Maldonado, Cayambe, Mejía, entre otros.

El cantón Cayambe al ser un atractivo turístico y proactivo con el medio ambiente, busca mejorar la calidad de vida de sus habitantes trabajando en conjunto con el gobierno nacional mediante el Plan de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”, el cual pone en marcha la construcción e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que beneficiará a la zona urbana de Cayambe dotando del servicio de agua potable para el cantón (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2019). Uno de los beneficios económicos que ha propuesto el estado es la creación de plazas de trabajo en la construcción del sistema de depuración, así como la mejora en el saneamiento ambiental y el desarrollo sostenible de la comunidad, impulsando el desarrollo de actividades productivas, comerciales y turísticas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2019). Según INEC (2010), en el año 2001 las estadísticas y censos del Cantón Cayambe tenían un índice de pobreza alrededor del 82,8% mientras que en el 2010 su índice disminuyó al 66,9% siendo una meta significativa para el actual gobierno que pretende reducir estas cifras. Según Benalcazar Játiva (2015), no existen estudios de carácter ambiental en el cantón Cayambe acerca de la contaminación ambiental en el mismo, pero según entrevistas realizadas a los pobladores uno de los problemas que mayor impacto genera en la comunidad son las florícolas, que utilizan agrotóxicos los cuales provocan graves problemas de salud tanto en los trabajadores como en la comunidad, percibiendo en la cotidianidad enfermedades, contaminación del suelo y del agua.

En la comunidad de Paquiestancia debido a su desarrollo económico en actividades de: agricultura, ganadería, y floricultura experimentan un rápido crecimiento, con ello la necesidad de ampliar su área productiva, a la industrialización para aumentar productos al

mercado, generando en la comunidad problemas en el cumplimiento de la normativa ambiental en las descargas de efluentes. Según indicadores el abastecimiento de agua proviene en un 47% de ríos, vertientes o acequias del lugar (Carrasco & Cayambe, 2017). Paquiestancia tiene la factibilidad de organizar comités que contribuyan con el desarrollo de la comunidad. Entre el principal tenemos el de seguridad, higiene, salud y salubridad pública, el mismo busca beneficiar a la comunidad con la implementación de la mayoría de los servicios básicos, una de las obras es la implementación de agua potable (Chimarro Cabascango & Robalino Farinango, 2012).

Actualmente la comunidad cuenta con 4 plantas de tratamiento de aguas residuales, conocidas con los siguientes nombres: Planta 1 Guadalupe, planta 2 Fierro Templado, planta 3 y 4 San Miguel, las cuales reciben agua residual doméstica de una parte de los sectores pertenecientes a la comunidad. Como vinculación su directiva necesita conocer el estado actual y funcionamiento de las plantas mediante una auditoría ambiental.

En el presente trabajo experimental se realizará el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activos como solución a la falta de depuración de aguas residuales domésticas para las 865 habitantes de 1767 que existen en la actualidad, para el cumplimiento de la normativa ambiental de descarga al afluente.

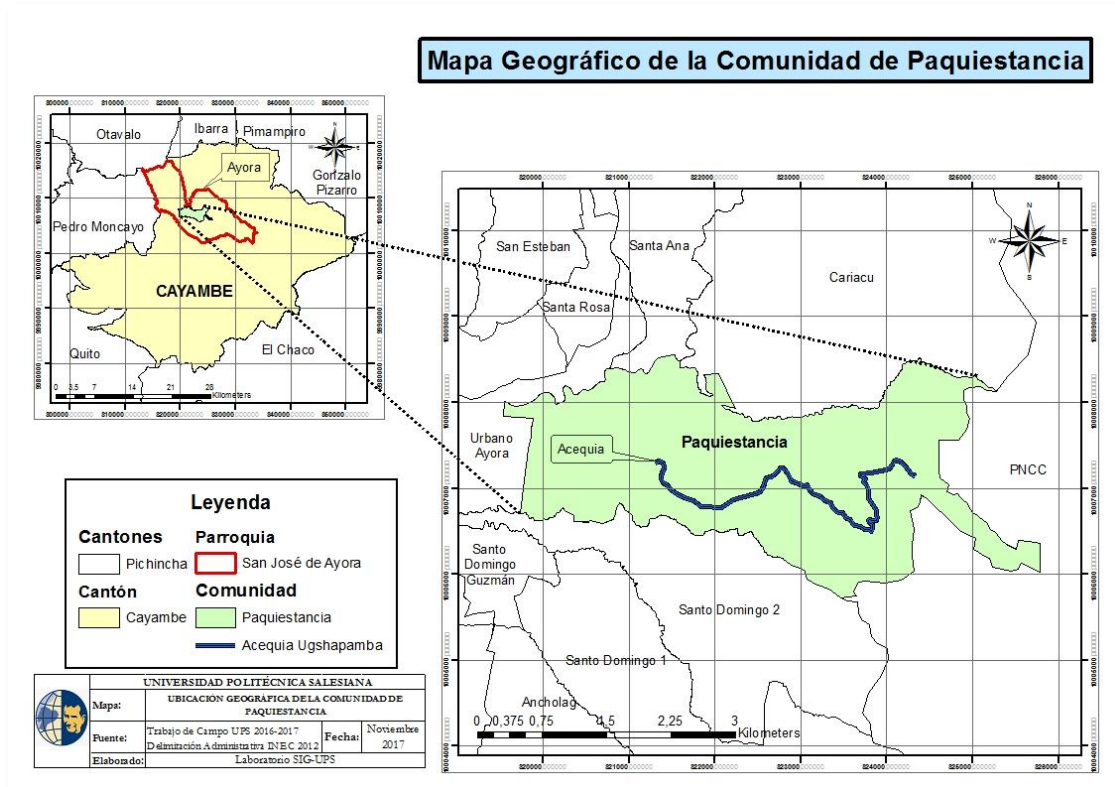
El realizar una planta de tratamiento de agua residual con lodos activos no solo sería un beneficio ambiental, además se llegaría a mitigar los posibles riesgos para la salud de la comunidad, mejorando de esta forma su calidad de vida. Los lodos activos son un bioproceso donde intervienen microorganismos, que permiten una depuración del agua residual, y su implementación proporciona una serie de ventajas tales como: costos menores de inversión, pequeña área de construcción y aumentar la eficiencia del proceso de descontaminación del agua, logrando así cumplir con la normativa ambiental vigente (IAGUA, 2017).

La comunidad de Paquiestancia está ubicada en la provincia de Pichincha, en el cantón Cayambe, parroquia San José de Ayora. Los sectores que abarca la comunidad son: Buga, B. Central, El Tambo, Laguna, Loma Verde, Pilton, Pucara, Pujota, San Miguel – Tabla Rumi, San Vicente, Suruco, trigal, Ugshapamba, y Yeguaspamba (Pulamarín, 2017)

Rodeada por: Cariacu, Santa Ana, Santa Rosa, Urbano Ayora, Santo Domingo 2, y PNCC. Como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Mapa geográfico de la comunidad Paquiestancia.*

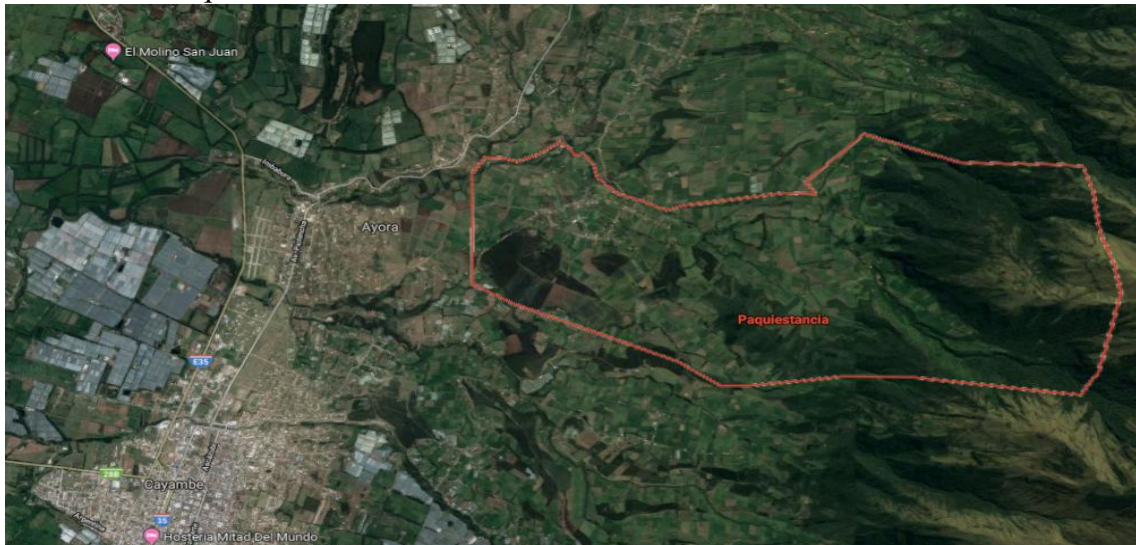


*Nota.* Tomado de *Linea Base Agropecuaria*, por Pulamarín 2017, Ecuador.

Se encuentra a una altura de aproximadamente 3000 metros sobre el nivel del mar, con una superficie total de 704,57 hectáreas de la cual cerca del 4% del total de superficie se encuentra dentro del parque nacional Cayambe-Coca (Pulamarín, 2017)

## ***Figura 2***

*Comunidad de Paquiestancia- Vista Satelital.*



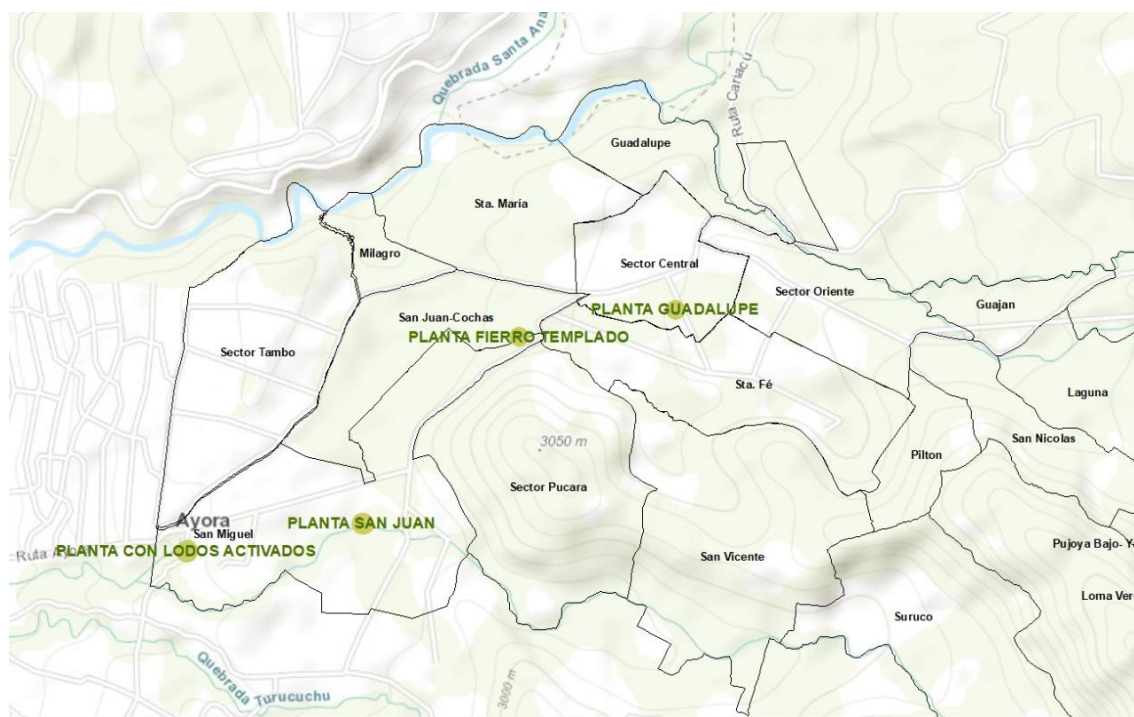
*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales con lodos activos dura seis meses en la comunidad de Paquiestancia, teniendo un ciclo de vida de 45 años de funcionamiento.

Como delimitación sectorial la planta de tratamiento de aguas residuales estará ubicada en la parroquia de San José de Ayora, Cantón Cayambe, comunidad Paquiestancia sector San Miguel como se ilustra en la imagen como planta con lodos activos. Como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Ubicación geográfica de las plantas de tratamiento en la Comunidad Paquiestancia.*



*Nota.* La imagen representa la propuesta de la creación de la Planta de tratamiento de lodos activos en lugar de la planta 4. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019. (ArcGis 10.4)

**Tabla 1**

*Coordenadas geográficas de la ubicación de las Plantas de Tratamiento en la Comunidad de Paquiestancia*

Punto	X	Y	Z	Latitud	Longitud
Planta 1	821742,000	0008296,000	2966	0° -4' -29,857" S	78° 6' 35,345" W
Planta 2	821047,000	0007622,000	2950	0° -4' -7,935" S	78° 6' 57,803" W
Planta 3	820469,000	0006310,000	2928	0° -3' -25,258" S	78° 7' 16,481" W
Planta de lodos activos	819827,000	0006830,000	2912	0° -3' -42,174" S	78° 7' 37,224" W

*Nota.* Esta tabla muestra las coordenadas geográficas y UTM donde x es el norte y el este y z la altitud. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

A nivel institucional la implementación de este trabajo está consensuado con el GAD de la Parroquia San José de Ayora, cantón Cayambe. Como administrador el comité promueve mejoras de la comunidad Paquiestancia, como auspiciante Universidad Politécnica Salesiana

Campus Sur y Centro de Apoyo Cayambe. Como beneficiarios directos los habitantes de la comunidad de Paquiestancia.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad Paquiestancia.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Objetivo Específico 1: Analizar los requerimientos necesarios para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Objetivo Específico 2: Experimentar métodos de descontaminación en planta piloto a escala de laboratorio.
- Objetivo Específico 3: Diseñar sistemas sanitarios e hidráulicos de la planta de tratamiento.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Actividades antropogénicas**

##### **3.1.1 *Fuentes de contaminación del agua (comunidad) actividad agrícola, ganadera, florícola y doméstica.***

El paso de los años y el desarrollo progresivo de las comunidades en el aspecto social y económico, han ido generando un impacto negativo a los recursos naturales que necesariamente se utilizan como la alta demanda de agua, es por esto que el agotamiento y contaminación de este recurso se da por el crecimiento poblacional y el desarrollo de los diversos sectores productivos (CEPAL, 2011)

Según la base de datos de concesiones de SENAGUA publicada en el año 2011, el 80% del caudal utilizado en Ecuador es por el uso agrícola, seguido con un 13% el uso doméstico del agua y con 7% el uso en las industrias (CEPAL, 2011)

Según la CEPAL (2011), la contaminación del agua se da por varios factores como:

- Vertimiento de aguas residuales a fuentes de agua dulce
- Falta de gestión en la disposición final de residuos sólidos
- Agroquímicos y pesticidas utilizados en los cultivos que por la acción de la escorrentía se dirigen a cuerpos de agua
- Aumento poblacional
- Incremento de actividades industriales, agropecuarias y florícolas

##### **3.1.1.1 Vertimiento de aguas residuales**

El vertimiento de aguas residuales se produce mediante los sistemas de alcantarillado de forma directa, sin que el agua haya pasado por un tratamiento previo de descontaminación (Minambiente, 2017)

### **3.1.1.2 Gestión en la disposición final de residuos sólidos y aumento poblacional**

La falta de gestión por parte de los municipios en cuanto a desechos generados a nivel poblacional ha provocado un continuo descenso en la salud de la población en el lugar donde no se realice una adecuada recolección y disposición final, debido a que en conjunto con el factor del aumento poblacional se han incrementado los botaderos provocando la proliferación de enfermedades por vectores, malos olores y plagas (FAO, 2019)

### **3.1.1.3 Agroquímicos y pesticidas utilizados en los cultivos**

El uso de pesticidas y fertilizantes se ha ido incrementando y ha provocado la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, debido a la erosión y la escorrentía química que se da al emplear estos productos, ocasionando a su vez la contaminación de los alimentos (FAO, 2019)

### **3.1.1.4 Incremento de actividad florícola y agropecuaria.**

En la década de los 70 en el Ecuador se dio la introducción del cultivo no tradicional de las flores, comenzando así su exportación en los años 80, convirtiéndolo en un negocio lucrativo y creando grandes empresas, llegando a más de 700 hectáreas de producción de cultivos florícolas (SICA, 2008)

En la provincia de Pichincha el 66% de su superficie total tiene cultivos de flores, seguido de Cotopaxi con 12,2%, Azuay con 5,8%, Imbabura con 5%, Guayas con 4,4% y el 6.6% lo constituye las demás provincias del país (SICA, 2008)

La actividad agropecuaria es relevante en la economía nacional como abastecedor del mercado interno por abastecer de materia prima a industrias, desarrollándose principalmente en la región Sierra por sus características climáticas y edafológicas, siendo el lugar ideal para el cultivo de ciertos alimentos, y áreas destinadas a la ganadería (INEC, 2019)

### 3.2 Proyección de la población

Es el cálculo del crecimiento poblacional previsto según el número de habitantes de un lugar para un año dado (Galeano & Rojas, 2016)

El método geométrico es el más útil en cuanto a zonas que presentan actividades económicas relevantes, debido a que el crecimiento de la población es proporcional al tamaño de la misma (Galeano & Rojas, 2016)

La fórmula empleada por este método es:

*Ecuación 1 Proyección de la Población. Fuente: (Galeano & Rojas, 2016)*

$$Pd = Pa(1 + r)^t$$

Donde:

Pd= Población de diseño, [habitantes]

Pa= Población actual, [habitantes]

r= Tasa de crecimiento anual, [años]

t= Periodo de diseño, [años]

### 3.3 Conceptos fundamentales para aplicar.

#### 3.3.1 El agua

El agua es un compuesto indispensable para la vida en el planeta, formado por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. El agua es determinante en procesos químicos, físicos y biológicos dentro del medio natural, siendo este encontrado en gran abundancia en la naturaleza (García, y otros, 2004)

Para los seres humanos el agua se la utiliza para el consumo doméstico y actividades productivas e industriales, afectando la disponibilidad de la misma con el incremento poblacional y la demanda que se requiere para las diversas actividades (SEMARNAT, 2014)

#### **3.3.1.1 Agua residual**

El agua residual es la combinación de desperdicios líquidos y sólidos que provienen de origen doméstico y/o empresas como: industrias, establecimientos comerciales junto con el agua superficial, subterránea y de lluvia que por un medio u otro son introducidos en cloacas y transportados mediante un sistema de alcantarillado (Romero, 2016).

#### **3.3.1.2 Tipos de agua residual**

Generalmente las aguas residuales provienen de origen doméstico o industrias o en su defecto una combinación de ambas, tales como:

#### **3.3.1.3 Agua residual doméstica**

Este tipo de aguas residuales son aquellas que tienen origen en áreas residenciales, comerciales e institucionales (Romero, 2016).

#### **3.3.1.4 Agua residual municipal**

Para describir un concepto de aguas residuales decimos que son residuos líquidos transportados por el sistema de alcantarillado de una población son por lo general este tipo de aguas se tratan en plantas de tratamiento municipales (Romero, 2016).

#### **3.3.1.5 Agua residual industrial**

Estas aguas son las provenientes de descargas de industrias que llevan a cabo diversos procesos de manufactura (Romero, 2016).

#### **3.3.1.6 Aguas negras**

Son aguas residuales que trasladan desecho humano (orina y excremento), provenientes de los inodoros, este tipo de desechos se caracterizan por tener grandes cantidades de coliformes fecales, solidos suspendidos y nitrógeno (Romero, 2016).

#### **3.3.1.7 Aguas grises**

Se caracterizas por originarse en tinas, lavadoras, duchas y lavamanos (Romero, 2016).

#### **3.3.1.8 Agua residual urbana**

Este tipo de aguas resultan entre la mezcla de aguas residuales industriales, domésticas y aguas de origen pluviales (Barba OH, 2002)

### **3.3.2 Caudal**

El caudal es el volumen de líquido que pasa por una corriente de agua por unidad de tiempo. Sus unidades pueden estar en:  $m^3/s$ , L/día, entre otras (CEPIS, 2008)

#### **3.3.2.1 Medición de caudales**

El conocer el caudal del agua residual que se va a tratar, es básico al momento de diseñar las instalaciones para la recogida, tratamiento y evacuación de la misma. Para de esta forma, las estructuras a construirse sean adecuadas a las necesidades de una población (Metcalf & Eddy, 1995).

Según Metcalf & Eddy, (1995) existen diversos métodos para la medición del caudal, entre ellos están los siguientes:

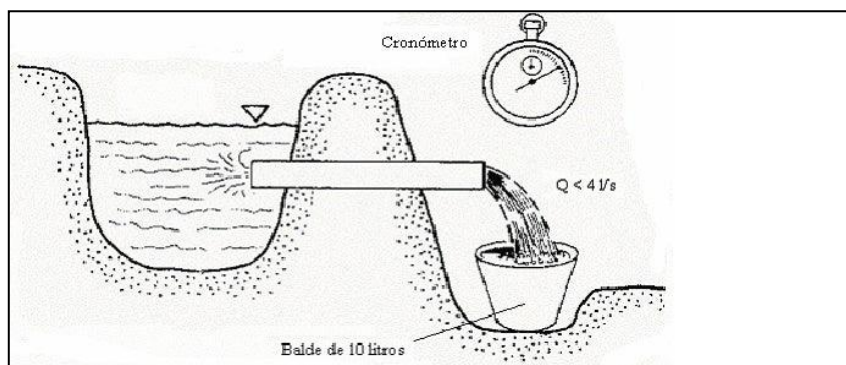
- Método área velocidad.
- Limnímetros.
- Volumétrico.

- Método área pendiente.
- Vertederos de aforo.
- Dilución con trazadores.

El método de utilidad en la investigación es el volumétrico, debido a que es el más sencillo para calcular caudales pequeños de forma directa, se obtiene midiendo el tiempo que tarde en llenarse un recipiente de volumen conocido, efectuando varias mediciones sucesivas para obtener un resultado más preciso como se observa en la Figura 4. Se deben realizar por lo menos 5 pruebas para calcular un promedio del caudal (Suarez, 2013).

**Figura 4**

*Método volumétrico para caudales menores a 4 l/s.*



*Nota.* Adaptado de Scribd por Suarez, 2013, <https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>.

### **3.3.3 Muestreo de agua**

Para obtener resultados reales en la construcción del diseño de la planta es forzosa la realización de un muestreo representativo, que por lo general se realiza en lugares con flujo turbulento, pero es necesario considerar el tipo de agua a tratar (Romero, 2016).

Los aspectos técnicos a utilizar antes de realizar la toma de muestras es la determinación del caudal, este debe ser representativo con el uso correcto de materiales,

equipos, transporte y preservación de las muestras (Arce Velázquez, Calderón Mólgora, & Tomasini Ortiz, 2019)

Además, es necesario conocer el tipo de muestreo a realizar, que puede ser simple o compuesto. Cuando el flujo de agua no es continuo se realiza particularmente el muestreo simple, porque representa únicamente las particularidades del agua residual en un instante, sin embargo, este método no puede ser representativo debido a que las características del agua pueden variar con el tiempo. Mientras que para dar credibilidad a la muestra se realiza el muestreo compuesto que detecta la variabilidad que puede existir en los contaminantes (Romero, 2016).

#### **3.3.4 *Flujo turbulento***

El flujo turbulento es el desplazamiento de partículas en el agua cuya dirección es diferente al del movimiento principal del fluido (Cabrera Ramírez, 2019).

#### **3.3.5 *Caracterización de componentes de agua residual***

##### **3.3.5.1 Orgánicos**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) es el requerimiento de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica de una muestra de agua residual en 5 días (Arce, Calderón & Tomasina, 2019).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se refiere a la cantidad de oxígeno requerido para descomponer la materia orgánica por medio de métodos químicos (Gortaire López, 2015).

##### **3.3.5.2 Inorgánicos**

Los seres vivos para cumplir el desarrollo necesitan una serie de nutrientes como lo son el fosforo y el nitrógeno. Es así que el nitrógeno se requiere para formar tejidos nuevos o



síntesis celular, además de que en algunas ocasiones puede causar eutrofización. Mientras que el fósforo para el transporte de energía, se encuentra en las aguas residuales en aproximadamente en 6 y 20 mg/L (Arce Velázquez, Calderón Mólgora, & Tomasini Ortiz, 2019).

### **3.3.5.3 Características Físicas**

#### **3.3.5.3.1 Sólidos**

Este tipo de agentes físicos pueden ser orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos por lo general están compuestos de fósforo, nitrógeno, sulfatos, carbonatos, sustancias tóxicas, pesticidas, entre otras (Gortaire López, 2015)

Mientras que los sólidos orgánicos están conformados por proteínas, aminas, urea, aceites, grasas, jabones, celulosas entre otros (Gortaire López, 2015).

#### **3.3.5.3.2 Turbidez**

La turbidez es utilizada para la medición de la dispersión de la luz en el agua, así como para conocer la calidad del agua tanto natural como tratada; la turbiedad está relacionada con los sólidos en suspensión ya que estos impiden el paso de la luz la cual puede ser absorbida o dispersa considerando el tamaño de la partícula (Morán Villela, 2014).

#### **3.3.5.3.3 Temperatura**

De manera general la temperatura de aguas residuales domésticas es mayor, debido a las descargas de agua caliente. La medición es necesaria debido a que en los sistemas de tratamiento hay procesos que requieren trabajar con una temperatura adecuada. Además, las variaciones de temperatura del agua pueden afectar al entorno natural como vida acuática, reacciones químicas y velocidades de reacción (Morán Villela, 2014).

### **3.3.5.4 Características Químicas**

#### **3.3.5.4.1 *pH***

El intervalo adecuado en el que se puede desarrollar la vida es entre un pH de 5 y 9, las aguas que poseen rangos menores o superiores al descrito tendrán un tratamiento con complicaciones mediante la utilización de agentes biológicos (Morán Villela, 2014).

#### **3.3.5.4.2 *POR***

El potencial de oxido reducción mide la capacidad de ganar o de perder electrones, es decir, la cuantía relativa de materiales que son reducidos u oxidados. Para condiciones anóxicas el valor de POR esta entre +50 y -50 mV, el  $\text{NO}_3^-$  es el aceptador de electrones. Para condiciones aerobias el valor de POR esta entre 50 y 300 mV en este caso los aceptadores de electrones van a ser el oxígeno y los nitratos. Para condiciones anaerobias el valor de POR es <-100 mV. (Romero, 2016, p. 67).

#### **3.3.5.4.3 *Oxígeno Disuelto***

Permite calcular la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos en el proceso de respiración aerobia (Metcalf & Eddy, 1995). Para la determinación de la DBO es necesario conocer la medición del oxígeno disuelto mediante el oxímetro que permitirá evaluar las condiciones aerobias del agua residual. También limita la auto purificación de los cuerpos de agua, es por la limitación que el tratamiento de agua residual es necesario previo a la descarga en ríos y embalses (Romero, 2016).

#### **3.3.5.4.4 *Nitrógeno***

Conocer la concentración del nitrógeno en las aguas residuales es esencial ya que trabaja en la síntesis de proteínas y se puede evaluar el tipo de tratamiento necesario para el agua residual a tratar (Morán Villela, 2014).

#### **3.3.5.4.5 *Fosforo***

Este elemento permite el desarrollo de varios organismos y en cantidades exorbitantes puede provocar la aparición de algas u otros organismos perjudiciales para el ser humano (Morán Villela, 2014).

### **3.4 Marco legal**

El agua residual contiene sustancias que en exceso son contaminantes para el medio ambiente y las personas, por lo que deben ser reguladas por una normativa ambiental que indique límites máximos permisibles que debe cumplir y cada parámetro que evalúe la calidad del agua que va a ser descargada hacia algún cuerpo hídrico, optimizar la eficiencia de las plantas de tratamiento ya existentes, basándose en el diseño de una nueva planta de tratamiento de agua residual en la comunidad.

Las bases legales vigentes que van a sustentar el objeto de estudio son:

#### **3.4.1 *Constitución de la república del ecuador***

Registro Oficial N° 499, Asamblea Nacional de la República del Ecuador, Ecuador, 20 de octubre de 2008.

- TÍTULO II Derechos

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir. Sección primera: Agua y alimentación.

Art. 12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida” (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008, p. 13).

Sección segunda: Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008, p. 13).

- TÍTULO VII Régimen del Buen Vivir.

Capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales. Sección sexta:

Agua.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008, p. 123).

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la

que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008, p. 123).

### **3.4.2 *Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.***

Registro Oficial N° 305, Gobierno Nacional del Ecuador, Ecuador, Quito, 6 de agosto de 2014.

- **TÍTULO II Recursos hídricos**

Capítulo I: Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos.

Artículo 11.- Infraestructura hidráulica. Se consideran obras o infraestructura hidráulica las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes, protección frente a avenidas o crecientes, tales como presas, embalses, canales, conducciones, depósitos de abastecimiento a poblaciones, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad así como todas las obras y equipamientos necesarios para la protección del dominio hídrico público (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2014, p. 5).

### **3.4.3 *Ley orgánica de la salud***

Registro Oficial N° 423, Gobierno Nacional del Ecuador, Ecuador, 22 de diciembre del 2006, con modificación el 18 de diciembre del 2015.

- **LIBRO II: Salud y seguridad ambiental**

## TITULO ÚNICO Capítulo I: Del agua para consumo humano.

Art. 102.- Es responsabilidad del Estado, a través de los municipios del país y en coordinación con las respectivas instituciones públicas, dotar a la población de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y otros de disposición de excretas y aguas servidas que no afecten a la salud individual, colectiva y al ambiente; así como de sistemas de tratamiento de aguas servidas (Ministerio de Salud, 2006, p. 20).

### **3.4.4 *Ley de gestión ambiental***

Registro oficial N° 418, codificación 19, Gobierno Nacional del Ecuador, Ecuador, 10 de septiembre del 2004.

- TITULO I Ámbito y principios de la gestión ambiental

Art. 5.- “Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales” (SUIA, 2004, p. 1).

### **3.4.5 *Acuerdo N° 061***

#### ***Reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente***

Registro oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, Edición especial N° 316, Ecuador, 4 de mayo de 2015.

Capítulo VIII: Calidad de los componentes bióticos y abióticos Sección I:

Disposiciones generales

Art. 195 Responsabilidad. - La Autoridad Ambiental Competente en ningún caso será responsable por emisiones, descargas y vertidos que contengan componentes diferentes o que no cumplan con los límites establecidos reportados por el Sujeto de Control quien será responsable en el ámbito administrativo, civil, o penal.

Adicionalmente a la imposición de sanciones administrativas, civiles o penales generadas por incumplimientos a la normativa ambiental aplicable, el incumplimiento de las medidas de contingencia para la limpieza, remediación y restauración de una área contaminada que a su vez pasa a ser una fuente de contaminación del entorno, puede conllevar a la generación de pasivos ambientales, cuya responsabilidad recaerá sobre quien o quienes generaron la contaminación, sobre el Sujeto de Control que no tome los correctivos inmediatos y sobre quien impida la aplicación de las medidas correctivas pertinentes de ser el caso (MAE, 2015, p. 45).

#### **3.4.6 Acuerdo 097A Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: recurso agua.**

Registro Oficial Edición especial N°387, Presidencia de la República del Ecuador, Ecuador, 4 de noviembre del 2015.

- **LIBRO VI ANEXO 1.**

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;

- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (MAE, 2015).

Esta Norma se aplica durante la descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor:

Agua dulce y agua marina los cuales deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 2):

**Tabla 2**

*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0.3
Alquil mercurio		mg/L	No detectable
Aldehídos		mg/L	2.0
Aluminio	Al	mg/L	0.2
Arsénico total	As	mg/L	0.1
Bario	Ba	mg/L	2.0
Boro tota	B	mg/L	2.0
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Cadmio	Cd	mg/L	0.02
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/L	0.1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0.1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Coliformes Fecales	Nmp/100mL		Remoción > al 99,9%
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0.2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0.5
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>		100
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/L	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1.0
Estaño	Sn	mg/L	5.0



Fluoruros	F	mg/L	5.0
Fósforo Total	P	mg/L	10.0
Hierro(total)	Fe	mg/L	10.0
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20.0
Manganeso(total)	Mn	mg/L	2.0
Materia Flotante	Visibles		ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0.005
Níquel	Ni	mg/L	2.0
Nitrato + Nitritos	Expresado como nitrógeno (N)	mg/L	10.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	15.0
Organoclorados totales	Concentraci3n de organoclorados totales	mg/L	0.05
Organofosforados totales	Concentraci3n de organofosforados totales	mg/L	0.1
Plata	Ag	mg/L	0.1
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Potencial de hidrogeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/L	0.1
Sólidos Sedimentables		mL/L	1.0
Solidos suspendidos Totales		mg/L	100
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Solidos totales	-	mg/L	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>	mg/L	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/L	2.0
Sulfuros	S	mg/L	0.5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1.0
Vanadio	Va	mg/L	5.0
Zinc	Zn	mg/L	5.0

*Nota.* \*La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida. Tomado de MAE. (2015).

### 3.4.7 Norma técnica para el control de descargas líquidas

Resolución N° 003, Direcci3n Metropolitana Ambiental, Ecuador, 14 octubre del 2005.

**Tabla 3***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/L	50	30
Aluminio	Al	mg/L	5,0	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1	0,1
Bario	Ba	mg/L	-	2,0
Boro total	B	mg/L	-	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,007	0,007
Cloro Activo	Cl	mg/L	-	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	CL <sup>-</sup>	mg/L	-	1000
Cobre	Cu	mg/L	2,0	2,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 mL	-	Remoción > al 99.9%
Color real	Color real	Unidades de color	-	*Inapreciable en dilución; 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2	0,2
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	170	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	350	160
Estaño	Sn	mg/L	-	5,0
Floruros	F	mg/L	-	5,0
Fósforo total	P	mg/L	15	10
Hierro	Fe	mg/L	25	10
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/L	20	20
Materia flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/L	10,0	2,0
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,006	0,006
Níquel	Ni	mg/L	2,0	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	-	30

Nitrógeno Total	N	mg/L	60,0	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados	mg/L	0,05	0,05
Organoclorados Totales	Totales			
Organofosforados y carbamatos	Organofosforados	mg/L	0,1	0,1
	Totales			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
Plata	Ag	mg/L	0,5	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,5	0,2
Potencial hidrógeno	PH	mg/L	5-9	5-9
Selenio	Se	mg/L	0,5	0,1
Sólidos Sedimentables	-	mg/L	10	1,0
Sulfuros	S	mg/L	1,0	0,5
Sólidos Suspendedos	SS	mg/L	100	80
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/L	400	1000
Temperatura	-	°C	<40	<35
Tensoactivos	Substancias activas al azul de metileno	mg/L	1	0,5
Turbidez	-	NTU	-	**
Zinc	Zn	mg/L	1,0	2,0

*Notas:* \* La apreciación del color se estima sobre los 10 mL de muestra diluida. \*\* No se incrementará en 5 unidades, la turbidez del cuerpo receptor. Tomado de MAE. (2006).

### 3.5 Tratamiento de agua residual

#### 3.5.1 Operaciones unitarias

Los procesos unitarios son clasificados en procesos químicos, físicos y biológicos mediante los cuales las sustancias contaminantes del agua van a ser transformadas en sustancias inocuas, obteniendo agua apta y de calidad para el ser humano (Vargas, 2005).

#### 3.5.2 Procesos físicos

Se conocen como métodos de tratamiento en los cuales actúan la acción de fuerzas físicas para permitir la remoción del material suspendido alojado en el agua residual a tratar. Este proceso unitario suele ser el primero en efectuarse por la presencia de partículas en suspensión que no permiten continuar con el tratamiento del agua (Valencia López, 2013).

El uso de cualquier operación unitaria típica va a estar en función de las diversas características (tamaño, densidad y forma) y la concentración de las partículas presentes (Vargas, 2005).

**Tabla 4**

*Procesos físicos unitarios*

<b>Operación</b>	<b>Aplicación</b>
Desbaste	Su objetivo es eliminar sólidos de gran tamaño, evitando que se dañen los equipos restantes. Se comporta como tratamiento previo.
Sedimentación/Decantación	Las partículas más densas descienden y se depositan en el fondo del sedimentador por efecto de la gravedad.
Flotación	Se da en situaciones de reposo para que los sólidos con una menor densidad agua ascienda a la superficie, y sean fácilmente eliminados del sistema, utilizando agentes de flotación.
Filtración	El agua residual debe atravesar un espacio poroso, generalmente arena, mismo que retiene grandes cantidades de material suspendido. Se suele utilizar como proceso final para el tratamiento de aguas turbias.
Coagulación-Floculación	Remueve las sustancias que ocasionan la turbiedad en el agua uniendo las sustancias coloidales, mediante la formación de floc. Además, ayuda a incrementar la eficiencia de los sedimentadores. Para conocer el tipo de coagulantes y la dosis optima se evalúa mediante la prueba de jarras.

*Nota.* Esta tabla muestra la definición y aplicación de los procesos unitarios. Adaptado de Valencia López, A. E. (2013).

### **3.5.3 Procesos unitarios**

Este proceso remueve la materia disuelta del agua al añadir productos químicos que dan lugar al desarrollo de reacciones químicas, debido a lo difícil que resulta eliminar las grandes cantidades de sales cantidades sumamente pequeñas de metales pesados, orgánicas, inorgánicas disueltas y pesticidas (Valencia López, 2013).

**Tabla 5***Procesos químicos unitarios*

<b>Operación/proceso</b>	<b>Aplicación</b>
Precipitación	Agregando el disolvente químico soluble en el agua, los iones del aditivo reaccionan con los de la sustancia que se remueve.
Procesos electroquímicos	Consiste en pasar corriente eléctrica a por medio del agua induciendo una reacción de oxido-reducción. Aplicable en el tratamiento de aguas residuales industriales.
Intercambio iónico	Permite el intercambio de iones entre el contaminante que se desea eliminar y un medio sólido.
Adsorción	Remueve las moléculas e iones de la solución, agrupándolos en la superficie del medio con características adsorbentes, por la intervención de las fuerzas de interfaz. Un medio adsorbente es el carbón activado en polvo que se utiliza en la remoción de sabores y aromas.
Desinfección	Consiste en aplicar cloro y ozono al agua en tratamiento. Destruye e inactiva los microorganismos.

*Nota.* Esta tabla muestra la definición y aplicación de los procesos unitarios. Adaptado de Valencia López, A. E. (2013).

**3.5.4 Operaciones biológicas unitarias**

Consiste en el aprovechamiento de la actividad metabólica de microorganismos (principalmente bacterias), para eliminar contaminantes de aguas residuales domésticas e industriales, convirtiéndolo en unos de los procesos más usados (Valencia López, 2013).

**Tabla 6***Procesos biológicos unitarios*

<b>Sistema</b>	<b>Aceptor</b>	<b>Descripción</b>
Aerobios	Oxígeno disuelto (OD)	Permite que el rendimiento energético se eleva generando fangos por el crecimiento de bacterias aerobias. Tiene baja solubilidad de oxígeno en

Anaerobios	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	el agua. Tiene un bajo consumo energético, produciendo baja cantidad de fangos y un requerimiento menor de nutrientes. Su ventaja es la obtención de gas combustible.
Anóxicos	Nitratos (NO <sub>3</sub> )	Consiste en la eliminación biológica de nitratos (desnitrificación) debido a presencia de nitratos (NO <sub>3</sub> ) y ausencia de oxígeno disuelto y que se transforman en nitrógeno (N <sub>2</sub> ).

*Nota.* Esta tabla muestra la definición y aplicación de los procesos unitarios. Adaptado de Valencia López, A. E. (2013).

### **3.6    *Sistemas de alcantarillado***

Un sistema de alcantarillado tiene como función la captación y transporte de aguas residuales o pluviales producidas dentro de una población determinada. Este sistema se da mediante una red de tuberías enterradas que conforman un conducto de servicio público cerrado, cuya disposición final se la da hacia una planta de tratamiento establecida (Quijia Molina, 2015).

#### **3.6.1    *Tipos de sistemas***

Según SIAPA (2016), se clasifican en los sistemas de alcantarillado por el agua que conducen siendo de dos tipos: Sanitario y Pluvial.

##### **3.6.1.1 Sistema de Alcantarillado Sanitario**

Consiste en una red de tuberías que permite evacuar de forma rápida y segura el agua residual municipal hacia su tratamiento y posterior vertido (SIAPA, 2016).

### **3.6.1.2 Sistema de Alcantarillado Pluvial**

Este sistema capta solamente las aguas de origen pluvial, para conducir las a su disposición final. Pueden ser almacenadas o transportadas a cauces naturales como arroyos (Valencia López, 2013).

### **3.6.1.3 Sistema de Alcantarillado por Separado**

Son redes independientes de dos instancias, una recoge aguas negras y las otras aguas de escorrentía pluvial (Inca Teneda & Quishpe Pinengla, 2011).

### **3.6.1.4 Sistema de Alcantarillado Combinado**

Conduce por el mismo conducto a las aguas residuales domésticas y también aguas de escorrentía pluvial (Inca Teneda & Quishpe Pinengla, 2011).

### **3.6.1.5 Sistema de Alcantarillado Mixto**

Este sistema es la combinación de sistema de alcantarillado separado y combinado, en una misma zona urbana (Inca Teneda & Quishpe Pinengla, 2011).

## **3.6.2 *Diseño del sistema***

El objetivo de diseñar un sistema de alcantarillado es el de presentar una alternativa para la caracterización y solución de problemas respecto al saneamiento del agua residual, para lograr un adecuado manejo del agua y disposición de residuos y excretas provenientes de una población (Flores Méndez, 2011).

## **3.7 Sistema de tratamiento**

### **3.7.1 *Pretratamiento***

Este sistema permite la recolección, retención y remoción de materiales flotantes que se encuentren en el agua residual, es decir cualquier tipo de sólidos para evitar interferencias en los procesos de tratamiento del agua residual a depurar (Valencia López, 2013).

### **3.7.2 Tratamiento primario**

Generalmente en el sistema primario se trata a las partículas que no fueron retenidas en el pretratamiento ya que pueden alterar los procesos en la depuración de agua. En este tratamiento se remueve los sólidos suspendidos en un buen porcentaje alrededor de 60% y la DBO entre 30 y 40% (Valencia López, 2013).

### **3.7.3 Tratamiento secundario**

En el tratamiento secundario se pretende reducir la carga de contaminación orgánica y los sólidos coloidales que no son decantables. Existen varios procesos biológicos que se ejecutan en este tratamiento con la ayuda de microorganismos, bacterias para tratar al agua residual de forma eficiente (Valencia López, 2013).

### **3.7.4 Fosa séptica**

La fosa séptica es una estructura de concreto reforzado y ferro cemento que por lo general es de forma rectangular. En esta estructura el agua es tratada por procesos de sedimentación donde es separada la parte solida del agua residual y estabilizada la materia orgánica para obtener una sustancia menos compleja y estable (Once Sarmiento & Ruiz Herrera , 2014).

### **3.7.5 Tratamiento por Lodos Activos**

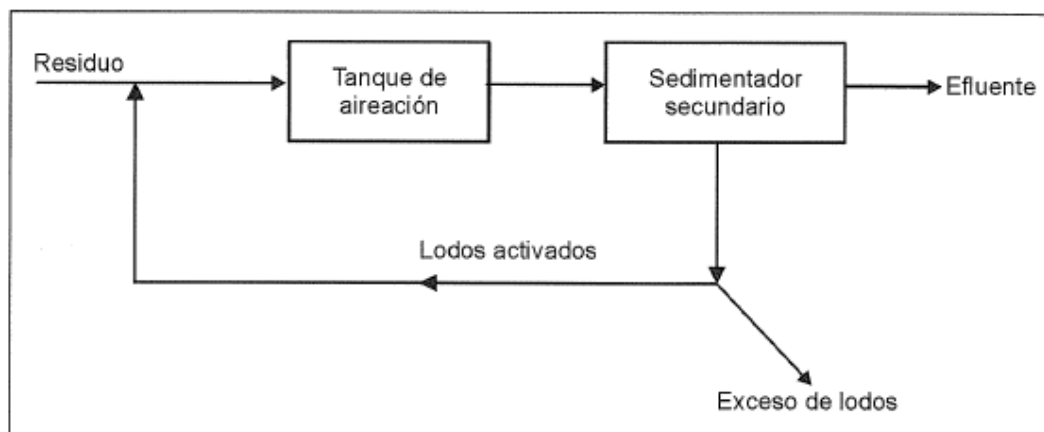
El tratamiento de agua residual por lodos activos trata de poner en contacto al agua residual con el fango formado por microorganismos, el cual está contenido en un reactor con aireación. La materia orgánica presente va eliminándose por la presencia de los microorganismos (Castillo Reinoso & Guerra Huilca , 2014).

El sistema de lodos activados incluye tanque de aireación, sedimentador y recirculación de lodos activados. Como se observa en la Figura 5:



**Figura 5**

*Esquema del proceso convencional de lodos activados.*



*Nota.* La imagen representa el flujo de procesos convencional de lodos activos. Tomado de *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño* (p. 432), por Romero Rojas, J. A, 2016, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Tanto el lodo recirculado como el agua residual provienen del sedimentador primario luego entran en el tanque de aireación son mezclados y aireados a medida que recorren por el tanque, la materia orgánica es estabilizada por los microorganismos de forma aeróbica en el tanque de aireación obteniéndose un efluente de baja carga orgánica, para continuar hacia el sedimentador secundario donde el floc biológico es separado del agua residual. Es necesario considerar que una parte del lodo es recirculado y el exceso será destinado tanto a la disposición final como al tratamiento del lodo. (Romero, 2016, pp. 431 - 432)

### **3.7.5.1 Cribado**

Es un proceso unitario que se utiliza para retirar el material sólido del agua. El agua pasa por una rejilla o criba y separa el material grueso del agua residual. Los materiales de la criba pueden ser de una lámina metálica, de madera o de concreto y también puede ser construida con varillas de hierro o acero; con agujeros para que sirva como un colador del agua residual. La limpieza de la criba se puede dar de forma manual o mecánica (Romero, 2016).

### **3.7.5.2 Trampa de grasas**

La trampa de grasas se caracteriza al ser un tratamiento de agua residual para establecimientos donde existe una gran cantidad de grasas, aceites y material flotante busca prevenir que las tuberías se taponen y exista un deterioro en las infraestructuras de tratamiento de agua residual como en las fosas sépticas, bombas y pueden llegar a dificultar el proceso de secado de lodos. En aguas residuales de domésticas por lo general la concentración de aceites y grasas esta alrededor de 30-50 mg/L (Romero, 2016).

### **3.7.5.3 Sedimentación**

La sedimentación es un proceso donde los sólidos suspendidos en el agua se precipitan por la acción de la gravedad. La sedimentación puede darse de forma simple cuando las partículas llegan asentarse y no cambian de tamaño, forma o densidad, y la sedimentación puede darse de forma inducida cuando las partículas cambian de forma o tamaño y se logra en un sedimentador (Pérez, 2006).

### **3.7.5.4 Sistema de aireación**

La aireación en el proceso de lodos activos tiene como objetivos: el dotar de oxígeno a las células, que las células se mantengan en suspensión y mantener en contacto con el residuo con los lodos. El tanque de aireación es el proceso central en lodos activados ya que es importante mantener condiciones aeróbicas apropiadas para que exista la presencia de microorganismos en los lodos activos (Romero, 2016).

### **3.7.5.5 Secado de lodos**

Este proceso busca reducir que la cantidad de agua contenida en el lodo sea menor a un 85%, tiene en cuenta la naturaleza del lodo, los demás procesos a realizarse en el tratamiento con lodos activos y el método de disposición final a ejecutarse. Este proceso de

secado mejora el manejo del lodo, minimiza la producción de lixiviados, reduce la humedad y se reduce el costo en el transporte del lodo a su disposición final (Romero, 2016).

### **3.8 Estudio topográfico**

#### **3.8.1 Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico permite determinar la proporción del terreno y su posición respecto al plano de la tierra, de instalaciones construidas y de elementos naturales. Brinda las herramientas necesarias para realizar una representación gráfica o elaboración de mapas topográficos del área de estudio (Casanova, 2003).

### **3.9 Línea base**

#### **3.10 Levantamiento de Información**

##### **3.10.1 Clima**

El clima en la zona poblada varía entre frío-húmedo a semi-húmedo el cual consta de dos estaciones: verano e invierno. En verano se producen vientos fuertes y sol intenso durante el día en los meses de mayo a septiembre, mientras que en el periodo de invierno se presenta en forma esporádica lloviznas y días nublados durante los meses de octubre a abril. En la comunidad la temperatura media anual es de 12-13°C cuya precipitación media aproximada es 896mm (Novoa, 2016).

##### **3.10.2 Hidrología**

Se encuentra influenciada por el nevado Cayambe, de donde emergen las principales fuentes de agua de riego y consumo. La comunidad de Paquiestancia desde el punto de vista hidrográfico se encuentra en la zona de influencia de la subcuenca del Río Pisque, que forma parte de la cuenca alta del Río Guayllabamba (Pulamarín, 2017).

### **3.10.3 Estado de las fuentes y caudales**

De las actividades de mantenimiento que realiza la Junta en la captación y en las fuentes de agua depende mucho la disponibilidad y calidad del agua de riego, parte de la gestión ambiental constituyen las prácticas de conservación y protección de páramos, como la implementación de un plan de manejo de fuentes (Pulamarín, 2017). La Junta de riego actualmente no posee un plan de manejo de fuentes, pero realiza periódicamente mantenimiento de la captación y de sus alrededores (Pulamarín, 2017).

### **3.10.4 Fuentes de abastecimiento de agua**

El sistema de riego se abastece de aguas superficiales, principalmente de los páramos de la comunidad y de las 4 plantas de tratamiento ya existentes en la comunidad (Pulamarín, 2017).

### **3.10.5 Caudales por sectores, superficie con y sin riego**

La distribución de agua se da de acuerdo a los 12 sectores en los que se encuentra dividida la comunidad y la ubicación geográfica en relación a la infraestructura de riego existente (Pulamarín, 2017).

En la comunidad la zona bajo la influencia de las acequias de riego cubre una superficie total de 488 hectáreas, cabe mencionar que dentro de esta superficie la distribución del agua se la realiza de acuerdo a la disponibilidad de agua en las fuentes de agua, el caudal de agua se lo distribuye proporcionalmente a cada sector (Pulamarín, 2017).

### **3.10.6 Almacenamiento de agua**

Los 12 sectores cuentan con reservorios de almacenamiento, estos permiten almacenar el turno del riego y posteriormente distribuir entre los usuarios del sector, cabe señalar que los reservorios por su capacidad no cumplen la función de reserva de agua para largas

jornadas de sequía, los reservorios permiten realizar las actividades de riego durante las horas luz y por la noche se almacenaría (Pulamarín, 2017).

**Tabla 7**

*Reservorios por sectores de riego en la Junta*

N.º	Sector ubicación	Sector beneficiado	Reservorio	Volumen (m <sup>3</sup> )	Coordenadas ubicación		
					x	y	z
1	BUGA	BUGA	1	550	82399 3	100077 35	315 1
	BUGA		2	1035	82429 8	100075 15	320 2
	UGSHAPAM BA		1	1045	82524 2	100064 17	331 1
2	PUJOTA	PUJOTA	1	598	82432 7	100068 54	324 9
4	LAGUNA	LAGUNA	1	10773	82329 4	100073 48	307 3
	PILTON 1		1	1044	82247 3	100073 94	305 4
	PILTON 2		2	1456	82216 1	100069 30	306 9
6	SAN VICENTE - SANTA FE	SAN VICENTE - SANTA FE	1	3234	82216 1	100069 30	306 9
	SURUCO 1		1	1050	82259 0	100067 28	206 9
	SURUCO2		2	724,5	82306 6	100062 04	308 3
8	PUCARA CENTRAL	CENTRAL	1	4368	82129 8	100073 05	302 4
9	PUCARA SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	1	1512	82079 8	100072 21	300 4
	TRIGAL		1	1400	82442 6	100070 01	
	Q. UGSHAPAM BA		1	3150	82435 0	100070 24	314 7
12		YEGUASPA MA					

*Nota.* Tomado de Pulamarín (2017).

### 3.10.7 Características del suelo

En la comunidad se puede encontrar 3 tipos de suelo:

Según Ayora (2015), menciona que el “suelo entisol son suelos jóvenes con desarrollo limitado. La productividad de este suelo es mayor a medida que se genera en depósitos fluviales y es menor cuando se forman en arena de laderas” (p. 15).

Según Ayora (2015), menciona que “el suelo inceptisol suelos jóvenes poco desarrollados en los que se observan fácilmente al comienzo del desarrollo del perfil, la vegetación nativa suele ser bosque” (p. 15).

Según Ayora (2015), menciona que “el suelo molisol son suelos oscuros y suaves que se ha desarrollado bajo una vegetación herbaria. Horizonte superficial rico en humus (contiene calcio y magnesio). La fertilidad del suelo es excelente” (p. 15).

#### **3.10.7.1      *Tipo de Suelo***

El suelo es arcilloso-arenoso en las partes bajas, además en las laderas los suelos presentan en su mayoría una capa de cangahua (tierra estéril característica de suelos volcánicos) (Zebrowski, 2014). En la parte alta presenta suelos negros y profundos con una considerable cantidad de arcilla y materia orgánica. Su pendiente del suelo es montañosa (Novoa, 2016).

#### **3.10.7.2      *Uso de suelo***

En la parte baja de la comunidad el 90% del suelo es utilizado como potreros para la siembra de pastos, este a su vez es aprovechado para alimentar al ganado y el 10% del suelo es utilizado para el cultivo de hortalizas, legumbres. La parte alta de la comunidad se encuentra en conservación ya que no existe ningún tipo de ganado vacuno y se realiza mingas para reforestar con plantas nativas para recuperar el caudal hídrico (Novoa, 2016).

### **3.10.7.3      *Actividad productiva***

Dentro de un ámbito económico-productivo la comunidad trabaja principalmente en actividades pecuarias y agrícolas, siendo la actividad pecuaria el principal ingreso económico que tiene la comunidad, el 90% de la población se dedica a la producción de leche cruda. Otras actividades realizadas por los pobladores de la comunidad es la crianza de borregos, cuyes, chanchos, gallinas, conejos, pavos. En el caso de la actividad agrícola los productos que se cultivan principalmente son: papas, choclos, mellocos, chochos, remolacha, zanahoria, lechuga (Novoa, 2016).

El destino de la producción agrícola se la comercializa en el mercado comunal "14 de Marzo" y en el mercado central de Cayambe (Novoa, 2016).

Actualmente existe interés por potencializar las actividades turísticas, en la comunidad existe el Grupo de Turismo, conformado por 15 personas que se encargan de brindar el servicio de alojamiento comunitario.

### **3.10.7.4      *Salud***

En 1983 el IESS (Instituto Ecuatoriano de Salud Social) inauguró el Seguro Social Campesino en el mes de noviembre y aquí se presta el servicio de primeros auxilios. Sin embargo, se identifican necesidades en el centro de salud el cual necesita de equipamiento con medicamentos, motivo por el cual ha obligado a la población a buscar otras alternativas como la medicina natural o la búsqueda de atención médica en la zona urbana y hasta provincial (Chimarro Cabascango & Robalino Farinango, 2012).

Las enfermedades más comunes dentro de la comunidad son: artritis, gastritis, parálisis facial, derrames cerebrales y sordera.

### 3.10.8 Riesgos Naturales

Los riesgos más comunes en la población son: La sequía se asocia a la escasez de agua para satisfacer las necesidades de las plantas y animales. La causa principal de la sequía es la falta de lluvias o precipitaciones. Para contrarrestar los efectos de la sequía se suele utilizar de manera racionada el agua de riego de acuerdo con las necesidades que posee cada usuario, esta llega una vez por semana durante diez horas, el agua de riego es almacenada en 5 reservorios los cuales se encuentran en diferentes sectores de la comunidad (Novoa, 2016). La helada ocurre cuando la temperatura del aire registrada en el abrigo meteorológico (es decir a 1,50 metros sobre el nivel del suelo), es de 0°C. Este tipo de eventos no ocurren en meses definidos pero su aparición es más constante en época de sequía afecta a diversos sembríos como papas, maíz, y aún más a los huertos familiares (Novoa, 2016).

### 3.11 Estado actual de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual.

#### 3.11.1 Población servida

**Tabla 8**

*Población con servicio de agua tratada*

	<b>Habitantes</b>	<b>Sector</b>	<b>Población servida</b>
	688	Santa Fe	200
	163	San Miguel	155
	378	Central	378
	384	Tambo	25
	154	Oriente	144
<b>Total</b>	<b>1767</b>	<b>Total</b>	<b>902</b>

*Nota.* Esta tabla muestra la dotación por sectores del servicio de depuración de agua en la comunidad. Tomado de Pulamarín (2017).

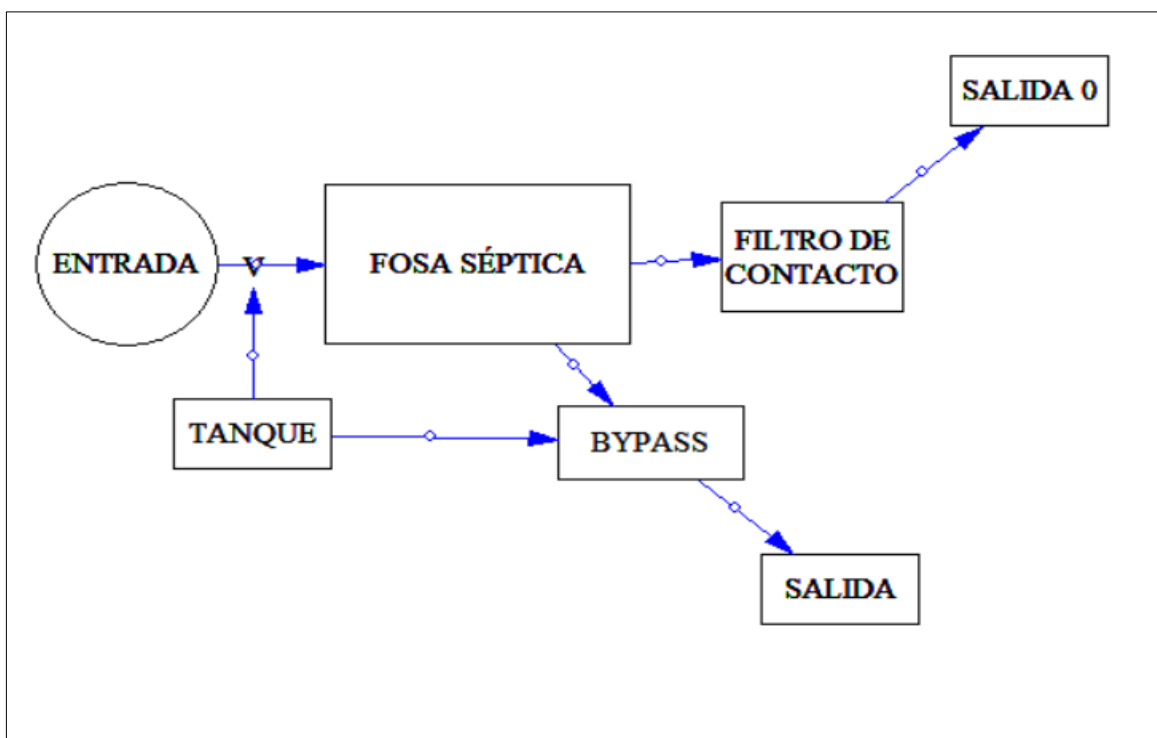
#### 3.11.2 Infraestructura

Las medidas de las estructuras (Como se muestra en el Anexo 1, Foto 1, Foto 2, Foto 3, Foto 4, Foto 5 y Foto 6) de las plantas de agua residual son las siguientes:



**Figura 6**

*Diagrama Planta 1 comunidad Paquiestancia.*



*Nota.* La imagen representa el diagrama de funcionamiento de la planta 1 de la comunidad. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 9**

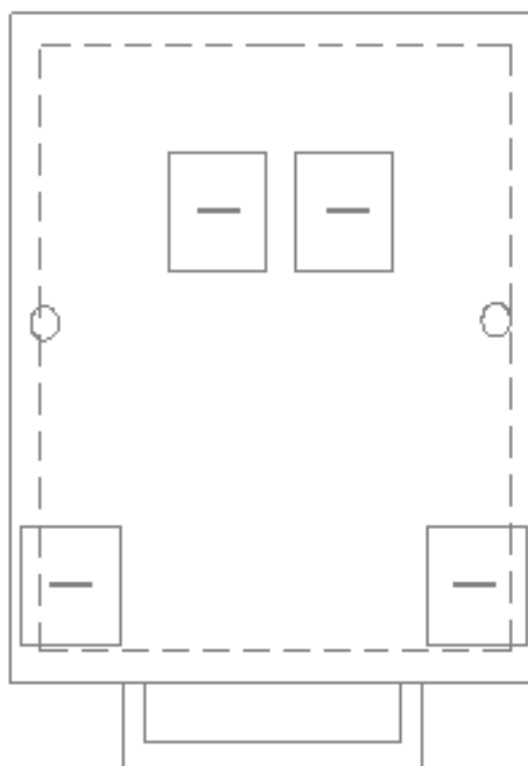
*Medidas PTAR 1 en metros*

Caracterización estructural de la planta de tratamiento		
FOSA SÉPTICA	Largo	3,35
	Ancho	3,6
	Profundidad	3,75
Volumen del pozo= 45,225 m <sup>3</sup> .		

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas de la fosa séptica de la planta 1. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Figura 7**

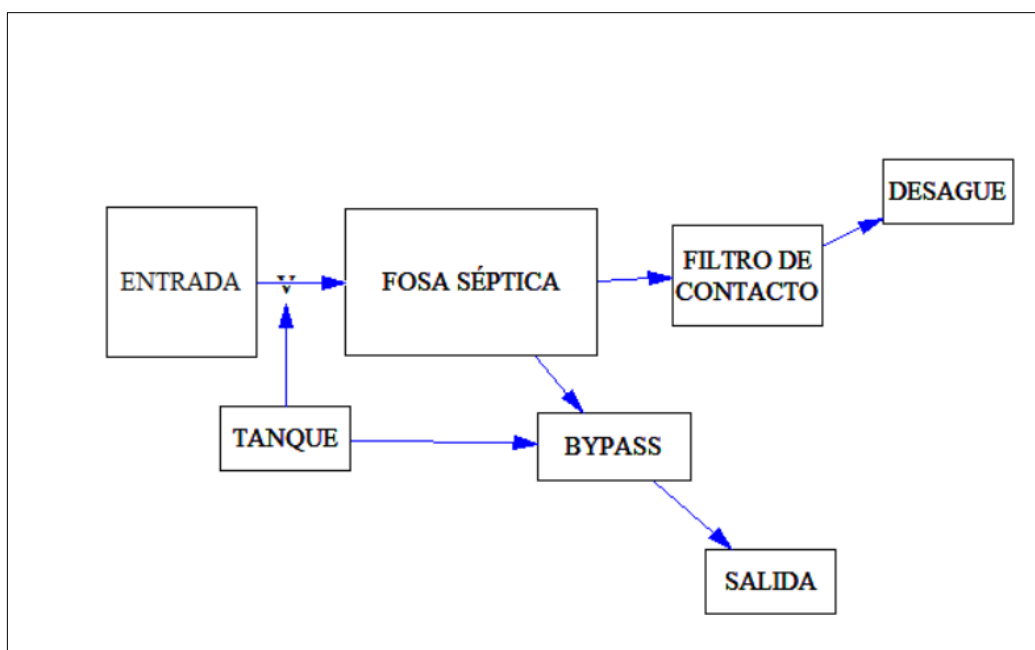
*Dibujo de la fosa séptica de la PTAR 1.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Figura 8**

*Diagrama Planta 2 comunidad Paquiestancia*



*Nota.* La imagen representa el diagrama de funcionamiento de la planta 2 de la comunidad.  
Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 10**

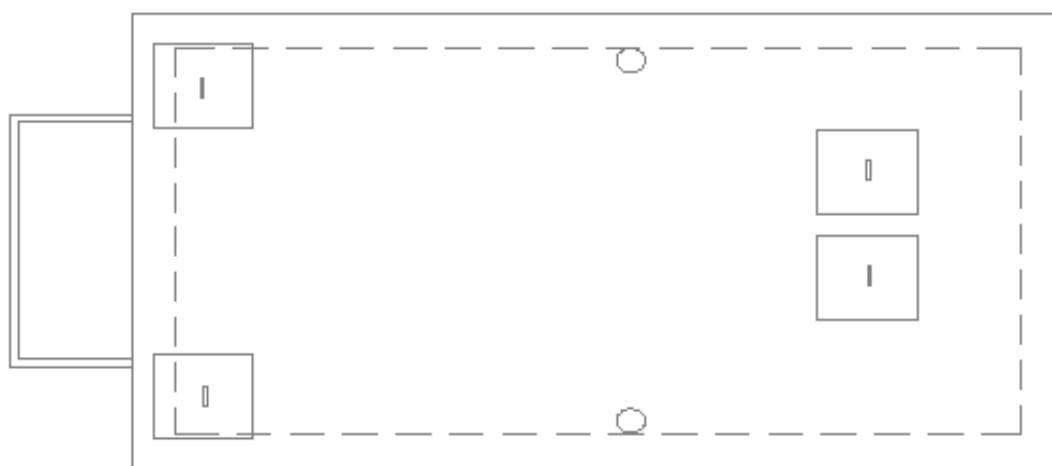
*Medidas de la PTAR 2 en metros (Fierro Templado).*

Caracterización estructural de la planta de tratamiento		
FOSA SÉPTICA	Largo	3,22
	Ancho	5,96
	Profundidad	3,75
Volumen del pozo= 71,97 m <sup>3</sup> .		

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas de la fosa séptica de la planta 2. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### **Figura 9**

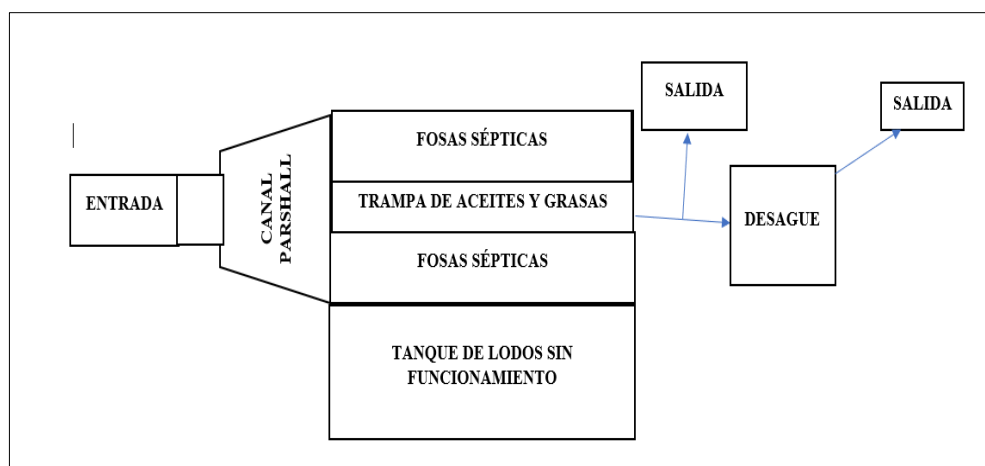
*Dibujo de la fosa séptica de la PTAR 2.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### **Figura 10**

*Diagrama planta 3 comunidad Paquiestancia.*



*Nota.* La imagen representa el diagrama de funcionamiento de la planta 3 de la comunidad.  
Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 11**

*Medidas de la PTAR 3 en metros.*

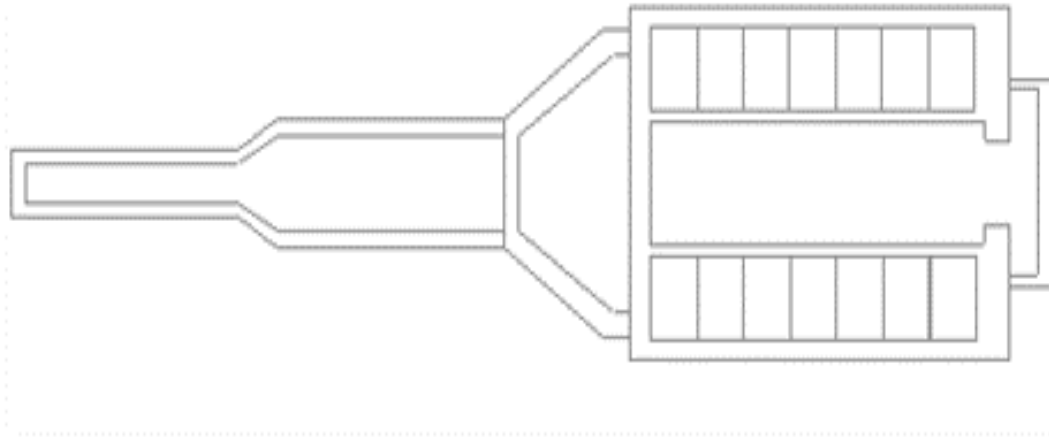
Medidas de la FOSA en metros:

Caracterización estructural de la planta de tratamiento			
CANAL PARSHAL	Rectángulo 1	Largo	0,37
		Ancho	2,29
		Profundidad	0,53
	Trapezio 1	b1	0,37
		b2	0,92
		h	0,48
		H	0,53
	Rectángulo 2	Largo	0,92
		Ancho	2,45
		Profundidad	0,52
FOSA SÉPTICA	Trapezio 2	b1	0,92
		b2	2,48
		h	1,04
		H	0,6
	Rectángulo 3	Largo	2,48
		Ancho	0,14
		Profundidad	0,6
	Rectángulo 4	Largo	3,37
		Ancho	4,1
		Profundidad	0,6
Volumen del pozo= 11,34m <sup>3</sup> .			

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas de la fosa séptica de la planta 3. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Figura 11**

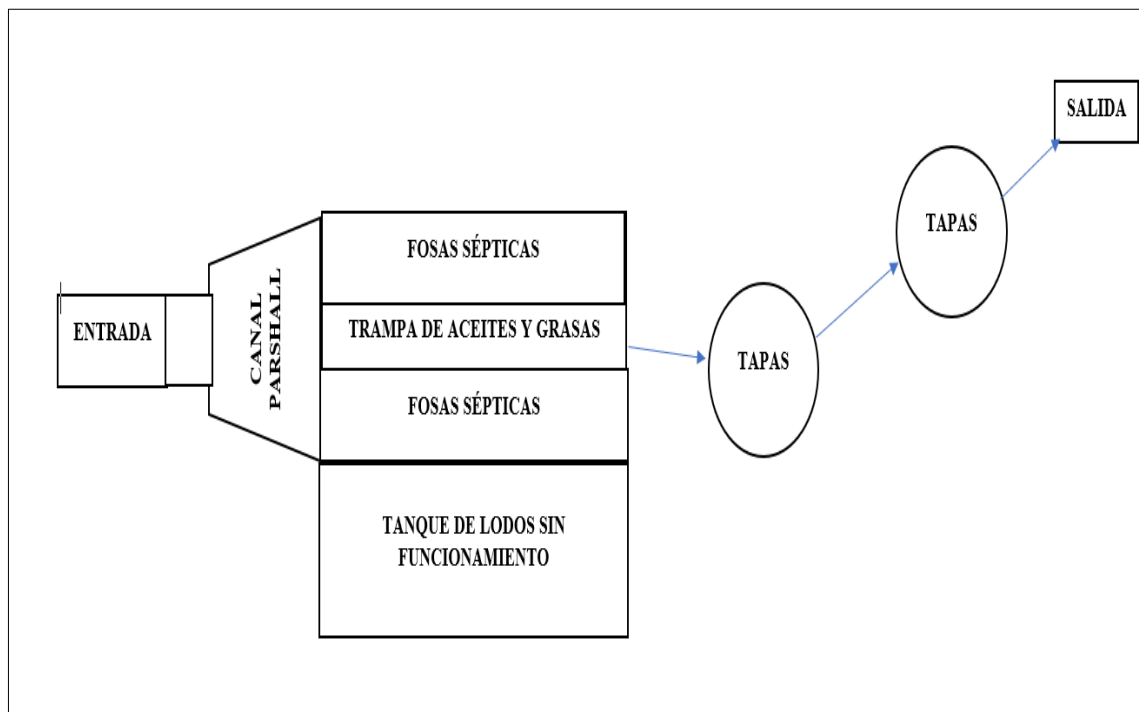
Dibujo del canal parshall y fosa séptica de la PTAR 3.



*Nota. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.*

**Figura 12**

*Diagrama Planta 4 comunidad Paquiestancia.*



*Nota. La imagen representa el diagrama de funcionamiento de la planta 4 de la comunidad. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.*

**Tabla 12***Medidas de la PTAR 4 en metros (San Miguel).*

Caracterización estructural de la planta de tratamiento			
CANAL PARSHAL	Rectángulo 1	Largo	0,3
		Ancho	1,7
		Profundidad	0,43
	Trapezio 1	b1	0,3
		b2	0,5
		H	0,67
		H	0,43
	Rectángulo 2	Largo	0,5
		Ancho	2,48
		Profundidad	0,43
	Isósceles 1	a	0,79
		b	0,06
		H	0,79
		H	0,43
	Rectángulo 3	Largo	0,79
		Ancho	0,05
		Profundidad	0,43
	Isósceles 2	a	0,78
		b	0,33
		H	0,78
		H	0,43
Trapezio 2	b1	0,73	
	b2	3	
	H	0,56	
	H	0,43	
Rectángulo 4	Largo	3,3	
	Ancho	4,8	
	Profundidad	0,65	

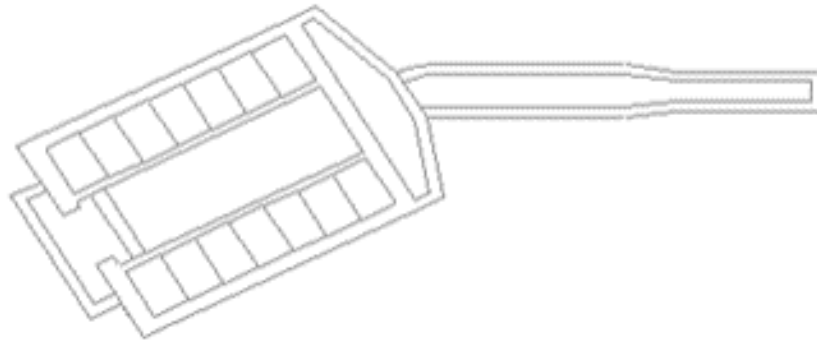
---

Volumen del pozo= 11,70 m<sup>3</sup>

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas de la fosa séptica de la planta 4. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Figura 13**

Dibujo del canal parshall y fosa séptica de la PTAR 4.



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 3.11.3 Funcionamiento

Al considerar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua residual fue necesario el cálculo de las eficiencias de cada una de las plantas de agua residual.

Para la determinación de la eficiencia de remoción se usa la siguiente fórmula:

*Ecuación 2 Eficiencia de remoción. Fuente. (Reina, 2015)pg. 52*

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{inicial}} \times 100$$

**Tabla 13**

*Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 1*

Parámetro de laboratorio	Eficiencia %
Turbidez	41,88
Sólidos totales	-
Sólidos sedimentables	50
Sólidos suspendidos totales	-
Oxígeno disuelto	9,69
DBO <sub>5</sub>	53,94
DQO	33,17
Nitritos	100,00



Nitratos	-6,98
Aceites y grasas	-
Coliformes totales	-
Coliformes fecales	-

*Nota.* \*Esta tabla 13 muestra que la eficiencia de remoción en la fosa séptica de la Planta 1, en la turbidez es menor al 50%, mientras que el de sólidos sedimentables la eficiencia es de 50%, según Gago Aburto (2010), a medida que pasa el tiempo la acumulación de materiales en suspensión pueden reducir la capacidad efectiva en el volumen del tanque, además la falta de un previo mantenimiento evidencia la obtención de estos valores de turbidez y sólidos sedimentables presentes en la planta. Mientras que en la eficiencia de la DBO<sub>5</sub> se obtiene un valor de 53,94% que, según Medina Moreno, y otros (2015), reportan eficiencias de remoción en fosas sépticas de DBO<sub>5</sub> entre el 46%-68%, obteniéndose el valor dentro del rango expuesto por los autores. La eficiencia de DQO se obtuvo un porcentaje del 33,17% pero según Chiriboga Sisalima (2016), el porcentaje de remoción es del 50% teóricamente, en los nitritos se obtiene un valor de remoción del 100% debido a que la presencia de oxígeno es mayor y se ha generado un proceso de nitrificación donde los nitritos son oxidados a nitratos por lo cual el valor de nitratos en remoción es negativo (Romero, 2005). Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 14**

*Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 2*

Parámetro de laboratorio	Eficiencia %
Turbidez	-20,58
Sólidos totales	-
Sólidos sedimentables	-100,00
Sólidos suspendidos totales	-
Oxígeno disuelto	-0,69
DBO <sub>5</sub>	53,47
DQO	50,61
Nitritos	0,00
Nitratos	-100,00
Aceites y grasas	-
Coliformes totales	-
Coliformes fecales	-

*Nota.* \*Esta tabla 14 muestra que la eficiencia de remoción en la fosa séptica de la Planta 2, en la turbidez es un valor negativo el cual se pudo obtener por las condiciones climáticas y la

falta de mantenimiento de la fosa séptica, y el de sólidos sedimentables la eficiencia tiene un valor negativo mostrando que existe una acumulación de sólidos que reduce la capacidad efectiva en el volumen del tanque (Gago Aburto, 2010). Según Ramalho Rubens (2003), cuando existe la acumulación de sólidos sedimentables en un tanque por un largo tiempo, estos tendrán un aspecto líquido produciendo al mismo tiempo un gas que contiene metano, el mismo que al ascender acarrea partículas de lodo y otras materias, es decir, se produce una digestión anaerobia en el tanque. Mientras que en la eficiencia de la DBO<sub>5</sub> se obtiene un valor de 53,47% que, según Medina Moreno, y otros (2015), reporta eficiencias de remoción en fosas sépticas de DBO entre el 46%-68%, obteniéndose el valor dentro del rango expuesto por los autores. La eficiencia de DQO se obtuvo un porcentaje del 50,61% y según Chiriboga Sisalema (2016), el porcentaje de remoción es del 50% teóricamente observándose que se encuentra dentro del rango de remoción, en los nitritos se obtiene un valor de remoción del 0% debido a que la presencia de oxígeno es mayor y se generando un proceso de nitrificación donde los nitritos son oxidados a nitratos por lo cual el valor de nitratos en remoción es negativo (Romero, 2005). Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 15**

*Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 3*

<b>Parámetro de laboratorio</b>	<b>Eficiencia %</b>
Turbidez	49,33
Sólidos totales	-
Sólidos sedimentables	0,00
Sólidos suspendidos totales	-
Oxígeno disuelto	3,37
DBO <sub>5</sub>	-6,09
DQO	58,52
Nitritos	0,00
Nitratos	-
Aceites y grasas	-
Coliformes totales	-
Coliformes fecales	-

*Nota.* \*Esta tabla 15 muestra que la eficiencia de remoción en la fosa séptica de la Planta 3, en la turbidez es menor al 49,33%, mientras que el de sólidos sedimentables la eficiencia es de nula es necesario considerar que puede existir la acumulación de sólidos que reducen la capacidad efectiva en el volumen del tanque (Gago Aburto, 2010). La eficiencia de la DBO<sub>5</sub> se obtiene un valor de negativo debido a la mayor de cantidad de oxígeno y la falta de remoción de sólidos sedimentables en el tanque muestra que puede existir una alta carga orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

La eficiencia de DQO se obtuvo un porcentaje del 58,52% pero según Chiriboga Sisalema (2016), el porcentaje de remoción es del 50% teóricamente observándose que se encuentra dentro del rango de remoción, en los nitritos se tiene un porcentaje de remoción nulo y no existe la presencia de nitratos, por lo que podría existir un proceso de desnitrificación y un crecimiento de algas lo cual justifica la baja remoción de oxígeno disuelto en el agua (Romero, 2005). Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 16**

*Eficiencia de remoción de contaminantes. PLANTA 4*

<b>Parámetro de laboratorio</b>	<b>Eficiencia %</b>
Turbidez	44,17
Sólidos totales	-
Sólidos sedimentables	20,00
Sólidos suspendidos totales	-
Oxígeno disuelto	0,00
DBO <sub>5</sub>	0,00
DQO	-112,09
Nitritos	100,00
Nitratos	-25,11
Aceites y grasas	-
Coliformes totales	-
Coliformes fecales	-

*Nota.* \*Esta tabla 16 muestra que la eficiencia de remoción en la fosa séptica de la Planta 4, en la turbidez es menor al 50%, mientras que el de sólidos sedimentables la eficiencia es de 20%, según Gago Aburto (2010), a medida que pasa el tiempo la acumulación de materiales en suspensión pueden reducir la capacidad efectiva en el volumen del tanque, además la falta de un previo mantenimiento evidencia la obtención de estos valores de turbidez y sólidos sedimentables presentes en la planta. Mientras que en la eficiencia de la DBO<sub>5</sub> y DQO, en los nitritos se obtiene un valor de remoción del 100% debido a que la presencia de oxígeno es mayor y se generando un proceso de nitrificación donde los nitritos son oxidados a nitratos por lo cual el valor de nitratos en remoción es negativo (Romero, 2005). Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Tablas 13, 14, 15 y 16 se puede apreciar que las plantas no se encuentran en un buen funcionamiento, para lo cual se propone mejorar la capacidad efectiva de los tanques diseñando tanques sépticos en las plantas 1,2 y 3 y la centralización de una planta de tratamiento de lodos activados en la planta 4.

### **3.12 Población sin servicio de alcantarillado y tratamiento de Agua residual**

La comunidad actualmente cuenta con 1767 habitantes, de los cuales 865 habitantes no cuentan con servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, a pesar de que se cuenta con 4 plantas de tratamiento en funcionamiento, no logran abastecer a toda la comunidad.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materiales

La medición y análisis de los parámetros en campo y en el laboratorio se utilizó la adecuada vestimenta de seguridad como: mandil, guantes de caucho, mascarilla y gafas de seguridad. Según lo indicado en Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo que fue proporcionado en la Universidad (UNISSMA, 2015).

#### 4.1.1 *Materiales utilizados en la fase de muestreo*

Los materiales que se utilizan en la fase de campo se detallan a continuación (como se muestra en el Anexo 1, Foto 7, Foto 8, Foto 9 y Foto 10):

**Tabla 17**

*Materiales utilizados en la fase de campo.*

Material	Descripción
Balde	Plástico de 4L
Botellas	Plásticas de 2L
Cuerda	10 m
Guantes	Caucho
Etiquetas	Adhesivas
Marcador	Permanente

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

#### 4.1.2 **Materiales utilizados en el análisis de laboratorio**

Para conocer el estado del agua proveniente de las plantas de tratamiento se realizaron diversos análisis en campo y laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana- Cede Quito - Campus Sur, por lo que todos los equipos utilizados estaban calibrados y en excelente estado para un resultado más exacto (como se muestra en el Anexo 1, Foto 11, Foto 12 y Foto 13).

**Tabla 18***Materiales utilizados en el análisis de laboratorio.*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>
Vasos de precipitación	100 mL y de 1000 mL
Agua destilada	Cantidad 2 L
Jeringuillas	De 1 mL y de 5 mL
Adaptador de vial	Correspondiente al fotómetro
Pipetas	De 10 mL
Peras	Ninguno
Embudo pequeño para polvo	Ninguno
Botellas Winkler	
Papel Aluminio	2 rollos

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.**5.2 Equipos utilizados**

Los equipos que se utilizaron fueron obtenidos de la Universidad se comprobó que estén previamente calibrados y en excelente estado para su uso en el muestreo y análisis posteriores en el laboratorio (como se muestra en el Anexo 1, Foto 14, Foto 15 y Foto 16).

**Tabla 19***Equipos utilizados.*

<b>Equipos y reactivos</b>	<b>Descripción</b>
Viales de reactivo	Marca: Hanna Instruments Modelo/código: HI, COD C
Digestor	Marca: Sep Science Modelo/código: DIGI PREP CUBE, F10SA0109.
Fotómetro	Marca: Hanna Instruments Modelo/código: HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer
Incubadora	Marca: Velp Scientifica Modelo: FTC 90E

pH-metro	Marca: Hanna Instruments
	Modelo/código: COMBO Ph & ORP, Waterproof, QUI-103A
Oxímetro	
Turbidímetro	Marca: Orbeco Hellige
	Modelo/código: TB200 Portable Turbidímetro
Paquete de reactivo en polvo	Código: HI 93728-0

---

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

## **4.2 Métodos**

### **4.2.1 Campo**

#### **4.2.1.1 Muestreo**

Se tomó un balde plástico, atado a la cuerda de 10 m de longitud. A continuación, se procedió a tomar las botellas plásticas recicladas y se cubrió las paredes de la botella con agua residual de las plantas de la comunidad de Paquiestancia. Una vez realizado este proceso tres veces se llenó cada una de las botellas recicladas de plástico con el agua residual se trató de que no existan espacio o burbujas de aire en las botellas. Por último, se etiquetó cada una de las muestras. Es necesario considerar que la toma de muestras fue tanto a la entrada como a la salida.

#### **4.2.1.2 Caudal/Aforo**

Se tomó en un balde plástico de 4L sujetado a la cuerda en el tanque procurando que el tanque se llene con el flujo de agua. Se tomó la medida del tiempo mediante el cronómetro durante 5 veces dependiendo del flujo del agua en cada una de las plantas de tratamiento de agua en la comunidad de Paquiestancia, posteriormente se procesó los datos con la ecuación detallada a continuación:

*Ecuación 3. Cálculo del caudal Fuente:(Romero, 2016).*

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/día)

**V:** Volumen del recipiente

**t:** Tiempo que tarde en llenarse el recipiente.

#### **4.2.1.3 Sólidos sedimentables**

Este parámetro se lo midió en campo con los equipos y materiales necesarios. La muestra de agua residual obtenida se homogenizo. Con una probeta se midió 1000 mL del agua de muestra. Una vez que se obtuvo la muestra lista se colocó dentro del cono Imhoff de la misma capacidad, el agua. Una vez lleno el cono Imhoff se dejó reposar durante 1 hora. Se anotó el valor de los sólidos a tiempo de 3, 5, 10 ,15, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos. Se anotó el volumen de sólidos sedimentables en mililitros por litros del cono (mL/L)

*Ecuación 4. Sólidos sedimentables. Fuente: (Piedra, 2015)*

$S_{sed} = \text{vol. sedimentado (mL)} / \text{vol. muestra en el cono (L)} * \text{hora}$

#### **4.2.1.4 pH-POR**

Una vez tomada cada una de las muestras de las plantas. Se tomó el pH-metro y se colocó en la función de pH. Se colocó en el balde el agua residual de donde se tomó la muestra y se esperó 10 segundos para proceder a la toma de la medición del pH. Para la toma de POR: Se toma el mismo dispositivo mencionado anteriormente y se colocó en función de POR. Luego se colocó en el balde donde estaba la muestra, se esperó durante 10 segundos para finalmente esperar el resultado de la toma de mediciones en mmV.

#### **4.2.1.5 Turbidez**

En la medición de este parámetro se colocó 10 mL de agua residual en la cubeta vacía que viene ya como parte del equipo. Se colocó la muestra dentro del equipo de medición.



Posteriormente se presionó la tecla "enter" y el valor de la turbidez se visualizó en la pantalla del equipo.

#### **4.2.1.6 Topografía**

Se realizó el montaje del instrumento en un punto topográfico determinado, colocando cada parte y accesorio de forma correcta. Luego se procedió a la nivelación del aparato en el terreno. Para iniciar las mediciones se orientó la estación total en un punto de coordenadas conocidas y conocer el azimut de referencia. Este paso se lo realizó directamente mediante el teclado de la estación. Se colocó al otro lado donde se quiere medir el prisma o reflector que determinó la distancia. Es necesario mencionar que se tuvo cuidado al momento de medir, es decir, que entre la visualización de la Estación Total y el prisma no hubo obstáculos para permitir el libre paso de la señal electromagnética. El paso anterior se lo repitió varias veces hasta conseguir las coordenadas y sus valores del terreno (como se muestra en el Anexo 1, Foto 17, Foto 18 y Foto 19). Con una tarjeta Micro SD se pasó los datos obtenidos para posteriormente grabarlos en el computador.

### **4.3 *Laboratorio***

#### **4.3.1 DBO<sub>5</sub>**

Para la obtención de DBO<sub>5</sub> se procedió a realizar el agua de dilución con un 1mL de cada una de las siguientes sustancias regulador de fosfatos pH 7.2, MgSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub> y FeCl<sub>3</sub>, posteriormente se dejó airear con aireador durante media hora. Para la determinación de DBO<sub>5</sub> se procedió a preparar en frascos winkler con el volumen de alícuota esperado tanto de la entrada como de la salida de cada una de las plantas. El volumen de alícuota considerado fue el siguiente: 5, 10 y 20 mL. Después se llenó el frasco con el agua de dilución hasta la mitad y se procedió a medir el oxígeno disuelto con el oxímetro. Una vez obtenido el valor se llenó el frasco winkler hasta el tope y se colocó en la incubadora a 20° C durante 5 días.

### 4.3.2 DQO

Con las muestras tomadas en la entrada y salida de las cuatro plantas de tratamiento se homogenizó el agua residual para poder colocar 100 mL de muestra en el vaso de precipitación. Fue necesario la preparación de un vial blanco y los viales de muestra cómo se detalla a continuación:

Para el Vial blanco: Con una jeringuilla se tomó 2 mL de agua destilada y se colocó en el vial de reactivo a un ángulo de 45°. Se tuvo cuidado al momento de tapar el vial y mezclar.

Viales de muestras: Se añadió 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitación. Se precalentó el reactor Hanna HI 83099 a 150°C (302° F). Con la jeringuilla se va tomó 1 mL de agua residual para después verterlo de nuevo en el mismo vaso de precipitación. Se repitió este paso 10 veces. Para cambiar la jeringuilla de una muestra a otra se lavó primero en agua destilada, repitiendo el principio de este paso, de igual manera 10 veces antes de colocarlo en la siguiente muestra de agua. Para la onceava vez se tomó exactamente 0,2 mL de la muestra. Se removió la tapa del vial de reactivo y se colocó los 0,2 mL de agua residual tomada. Mientras se realiza este paso se mantuvo el vial a un ángulo de 45° de posicionamiento. Se colocó de nuevo la tapa del vial herméticamente y se mezcló invirtiendo cada vial un par de veces. Se tuvo cuidado con los viales debido a que se calientan durante la mezcla, por eso es recomendado utilizar guantes aislantes de calor. Cada vial fue colocado en el digestor previamente calentado a la temperatura indicada durante 2 horas (120 minutos). Al final del periodo de digestión se apagó el equipo. Se esperó cerca de 20 minutos para retirar los viales ya que con el paso del tiempo y la temperatura ambiente fueron bajando su temperatura. Luego se colocó el vial blanco en la celda del fotómetro para tarar el equipo, después se colocó los viales de muestra en el fotómetro tapara obtener resultado de DQO requerido.

### 4.3.3 Nitratos

Para el análisis de este parámetro se realizó lo siguiente: En el fotómetro se presionó la tecla **METHOD** para seleccionar el parámetro de Nitrato que se va a realizar la medición. Con una pipeta se tomó 6 mL de la muestra de agua residual previamente homogeneizada. Se llenó el adaptador del vial (frasco del fotómetro) con los 6 mL de muestra en donde se pudo observar que el frasco se llena un poco más arriba de la mitad y luego se colocó la tapa. Se puso el frasco en el soporte del fotómetro y se cerró la tapa. Se presionó la tecla de *Zero*, la pantalla mostró "**-0.0-**". Lo cual indica que está listo para la medición. Luego se removió el frasco del fotómetro y con un embudo pequeño para polvo, se añadió el contenido del paquete HI 93728-0 de reactivo en polvo dentro del frasco con la muestra. Se cerró bien el frasco del fotómetro e inmediatamente se sacudió vigorosamente de arriba hacia abajo durante 10 segundos. Se continuó mezclando, invirtiendo el frasco gentilmente por 50 segundos, teniendo cuidado que no se formen burbujas. Se debe mencionar que el polvo no va a estar completamente disuelto al final del tiempo de mezcla. Se reinsertó el frasco con la mezcla en el equipo, teniendo en cuenta no sacudirlo. Después se presionó la tecla con la opción *Crono*, la pantalla mostró el temporizador antes de medir o, también hay la opción de esperar por 4 minutos y 30 segundos y presionar la tecla *Leer*. Cuando el tiempo mencionado en el fotómetro se terminó automáticamente el equipo mostró en la pantalla el resultado en mg/L de nitrato-nitrógeno ( $\text{NO}_3\text{N}$ ). En el fotómetro se encuentran las teclas **▲▼** que permitieron la selección de los diversos parámetros, sin embargo, en el caso de este análisis, cuando ya se ha mostrado el resultado del nitrato, presionando estas teclas se accedió a la opción *Chem Frm*, en la que se puede convirtió el resultado en mg/L de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

### 4.3.4 Nitritos

Para el análisis de este parámetro se realizó lo siguiente: En el fotómetro presionar la tecla **METHOD** para seleccionar el parámetro de Nitritos que se va a realizar la medición.

Con una pipeta se tomó 10 mL de muestra del agua residual previamente homogenizada. Se llenó el adaptador del vial (frasco del fotómetro) con los 10 mL de muestra y se colocó la tapa. Se colocó el frasco en el soporte del fotómetro y se cerró la tapa. Se presionó la tecla de *Zero*, la pantalla mostrará "-0.0-". Lo cual indica que está listo para la medición. Se removió el frasco del fotómetro y con un embudo pequeño para polvo, se añadió el contenido del paquete HI 93708-0 de reactivo en polvo dentro del frasco con la muestra. Se cerró bien el frasco del fotómetro e inmediatamente se sacudió vigorosamente de arriba hacia abajo durante 15 segundos. Se reinsertó el frasco con la mezcla en el equipo, teniendo en cuenta no sacudirlo. Se presionó la tecla con la opción *Crono* y la pantalla mostró el temporizador antes de medir o, esperar por 6 minutos y se presionó la tecla con la opción *Leer*. Cuando el tiempo mencionado en el fotómetro se ha terminado automáticamente el equipo mostrará en la pantalla el resultado en mg/L de nitrito-nitrógeno ( $\text{NO}_2^- \text{N}$ ). En el fotómetro se encuentran las teclas ▲ ▼ que permiten la selección de los diversos parámetros, sin embargo, en el caso de este análisis, cuando ya se ha mostrado el resultado del nitrito, se presionó estas teclas con lo cual se va a acceder a la opción *Chem Frm*, en la que se pudo transformar el resultado a mg/L de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ).

#### 4.3.5 Fósforo

Para el análisis de este parámetro se realizó lo siguiente: En el fotómetro se presionó la tecla **METHOD** para seleccionar el parámetro de fósforo que se va a realizar la medición. Con una pipeta se tomó 10 mL de la muestra de agua residual previamente homogeneizada. Se llenó el adaptador del vial (frasco del fotómetro) con los 10 mL de muestra y se colocó la tapa. Se colocó el frasco en el soporte del fotómetro y cerrar la tapa. Se presionó la tecla de *Zero*, la pantalla mostrará "-0.0-". Lo cual indica que está listo para la medición. Se removió el frasco del fotómetro y con un embudo pequeño para polvo, se añadió el contenido del paquete HI 93717A-0 de reactivo en polvo dentro del frasco con la muestra. Se cerró bien el

frasco del fotómetro e inmediatamente se sacudió vigorosamente hasta que se disuelva el reactivo totalmente y colocó en el fotómetro. Se reinsertó el frasco con la mezcla en el equipo, teniendo en cuenta de no sacudirlo. Se presionó la tecla con la opción *Crono* la pantalla mostró el temporizador antes de medir o, se esperó por 6 minutos y presionó la tecla con la opción *Leer*. Cuando el tiempo mencionado en el fotómetro se ha terminado automáticamente el equipo mostrará en la pantalla el resultado en mg/L. En el fotómetro se encuentran las teclas ▲ ▼ que permiten la selección de los diversos parámetros, sin embargo, en el caso de este análisis, cuando ya se ha mostrado el resultado del nitrato, se presionó estas teclas se va a acceder a la opción *Chem Frm*, en la que se puede convertir el resultado en mg/L de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

#### 4.4 *Diseño*

##### 4.4.1 Caudal de Diseño

Es importante considerar la siguiente ecuación.

*Ecuación 5 Caudal de Agua Residual para el año 2045. Fuente: (CIDEAD, 2009)*

$$Q_{AR} = \text{Dotación}_{2019} * P_{2045}$$

Donde:

**Q<sub>AR</sub>**: Caudal de diseño, [ $\text{m}^3/\text{día}$ ]

**Dotación<sub>2019</sub>**: Agua residual con respecto a la dotación del 2019, [ $\text{m}^3/\text{hab}*\text{día}$ ]

**P<sub>2045</sub>**: Población proyectada 2045, [hab]

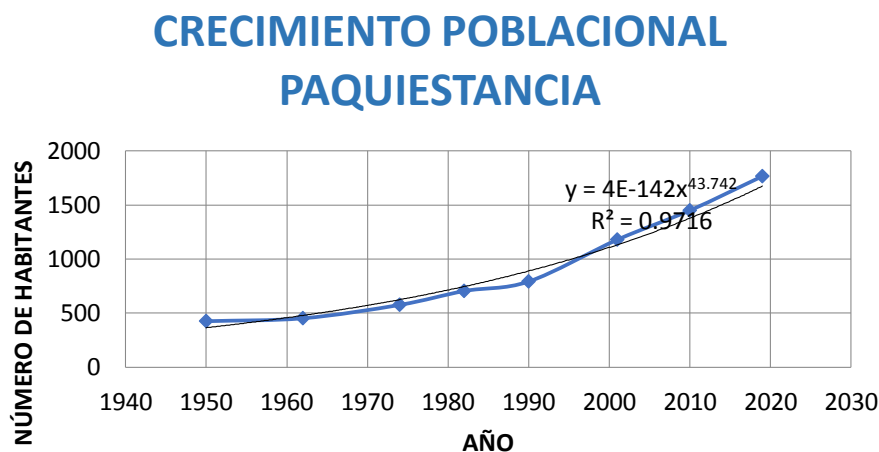
##### 4.4.2 Crecimiento poblacional

Para la estimación del crecimiento poblacional se utilizaron datos obtenidos de censos realizados en anteriores años en la comunidad de Paquiestancia, mismos datos fueron facilitados por la directiva.

El tiempo estimado para el cálculo de la población fue de 25 años posteriores al año en el que se realiza el trabajo experimental, con la fórmula de crecimiento poblacional por el método geométrico, aplicada en Excel para obtener los resultados.

**Figura 14**

*Número de habitantes vs año.*



*Nota.* El gráfico representa el incremento de la población en por año. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

Mediante la ecuación obtenida en la gráfica se procede a calcular en número de habitantes en el año 2045. Para posteriormente calcular el caudal de diseño cuyo resultado es de 314, 52 m<sup>3</sup>/día.

#### **4.4.3 Ampliación de nuevas infraestructuras**

Una de las propuestas para mejorar la eficiencia de las plantas existentes en Paquiestancia es la incorporación de tanques en cada una de ellas, por lo tanto, se utilizó las siguientes expresiones:

*Ecuación 6. Volumen del rectángulo. Fuente: (CIDEAD, 2009)*

$$V = l * a * h$$

Para dimensionar los tanques se utilizó la relación:

*Ecuación 7. Relaciones de Tamaño. Fuente: (Sánchez & Martínez, 2015).*

$$L = 2a = 3h$$

#### **4.4.4 Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Residual de Lodos activados**

##### **4.4.4.1 Diseño de la Criba**

En el diseño de la criba se empleó las expresiones que se detallan a continuación:

*Ecuación 8. Para pérdidas en rejillas, expresión clásica para orificios. Fuente: (Romero, 2016, p. 289).*

$$h = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{c * Ae} \right)^2$$

Donde:

**h:** Altura, [m]

**g:** Gravedad, [9,81m/s<sup>2</sup>]

**Ae:** Área específica, [m<sup>2</sup>]

**c:** Coeficiente de descarga, [0,003]

**Q:** Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/s]

*Ecuación 9. Área específica Tomado de: (Metcalf & Eddy, 1995).*

$$Ae = L * a$$

Donde:

**Ae:** Área específica, [m<sup>2</sup>]

**L:** Largo, [m]

**a:** Ancho, [m]

*Ecuación 10. Deducción del teorema de Pitágoras. Tomado de: (Metcalf & Eddy, 1995).*

$$h = \frac{L}{1.4142}$$

*Ecuación 11. Ecuación 9 y 10 reemplazadas en ecuación 8. Tomado de: (Metcalf & Eddy, 1995).*

$$L^3 = \frac{1.4142}{2g} \left( \frac{Q}{c * a} \right)^2$$

Se reemplazo los valores en la ecuación 11:

$$L^3 = \frac{1.4142}{2g} \left( \frac{Q}{c * a} \right)^2$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{1.4142}{2g} \left( \frac{Q}{c * a} \right)^2}$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{1.4142}{2(9,8 \frac{m}{s^2})} \left( \frac{0,003640278 \frac{m^3}{s}}{0,003 * 0,50 m} \right)^2}$$

$$L = \sqrt[3]{0,07215 \frac{s^2}{m} (5,7688 \frac{m^2}{s^2})}$$

$$L = 0,75m$$

$$Ae = L * a$$

$$Ae = 0,75m * 0,50m$$

$$Ae = 0,38m$$

$$h = \frac{L}{1,4142}$$

$$h = \frac{0,75m}{1,4142}$$

$$h = 0,53m$$

Estas aguas son las provenientes de descargas de industrias que llevan a cabo diversos procesos de manufactura. Para determinar el número de barras se considera la tabla acerca de las características de las rejillas de barras, y el material de las rejillas de barra serán de acero inoxidable:



**Tabla 20***Características de rejillas de barrotes.*

<b>Características</b>	<b>De limpieza manual</b>	<b>De limpieza mecánica</b>
Ancho de las barras	0,5-1,5 cm	0,5-1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5-7,5 cm	2,5-7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5-5,0 cm	1,5-7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° -45°	0° -30°
Velocidad de acercamiento	0,3-0,6 m/s	0,6-1 m/s
Perdida de energía permisible	0,5-1,5 cm	0,5-1,5 cm

*Nota.* Tomado de Romero (2016, p. 288).*Ecuación 12. Número de barrotes. Fuente: (Romero, 2016).*

$$n = \frac{a - t}{t + b}$$

Donde:

**n:** Número de barrotes**a:** Ancho del canal, [m]**t:** Separación entre barras, [2,5 cm]**b:** Ancho de barras, [1,5 cm]

Se reemplazo los valores en la ecuación 12:

$$n = \frac{0,5m - 0,025m}{0,025m + 0,015m}$$

$$n = 12 \text{ barrotes}$$

**4.4.4.2 Sedimentador primario**

Para conocer el diseño del sedimentador primario fue necesario emplear un tiempo de retención de 15 minutos (0,25 días) según lo establecido en Metcalf & Eddy, (2010) .

Posteriormente con el valor del caudal proyectado para el año 2045, se determinó el volumen del tanque mediante la siguiente ecuación:

*Ecuación 13. Volumen del tanque sedimentador primario. Fuente: (Gortaire, 2015, p. 18).*

$$V = Q_{2045} * t_R$$

Donde:

**V:** Volumen del tanque del sedimentador primario, [m<sup>3</sup>]

**Q<sub>2045</sub>:** Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/día]

**t<sub>R</sub>:** Tiempo de retención, [día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 13:

$$V = \frac{0,218m^3}{min} * 15min$$

$$V = 3,276m^3$$

Se empleó la relación longitud/ancha empleada en Romero Rojas J. A., (2004) con valores de 5/1 y con una profundidad de 2 metros para conocer las dimensiones del tanque, quedando de la siguiente forma:

*Ecuación 14. Relaciones de dimensionamiento. Fuente: (Sánchez & Martínez, 2015).*

$$5h=2a=L$$

Donde:

**h:** Altura, [m]

**a:** Ancho, [m]

**L:** Longitud, [m]

Para conocer el valor de la longitud se utilizó la fórmula del volumen de un rectángulo.

$$V=L*a*h$$

$$V=L^3/10$$

$$L = \sqrt[3]{10V}$$

$$L = \sqrt[3]{10(3,276m^3)}$$

$$L=3,19\text{m}$$

$$a=1,59\text{m}$$

$$h=0,63\text{m}$$

En los tanques de sedimentación primaria rectangulares, la tolva que se encuentra en la parte inferior del desarenador se coloca generalmente en el centro del tanque, teniendo máximo una profundidad de 3 m con pendientes superiores de 1,7/1 en paredes laterales y un ancho de 0,6 m en el fondo (Romero, 2016).

Utilizando la siguiente expresión:

*Ecuación 15. Lado de la tolva. Fuente: (Romero, 2016).*

$$M = L * \tan(\alpha)$$

Donde:

$\alpha$ : Ángulo de inclinación para la tolva, 10°

**L**: Largo del reactor, [m]

**M**: Lado de la tolva, [m]

Se reemplazó los valores en la ecuación 15:

$$M = 3,19\text{m} * \tan(10)$$

$$M = 0,56\text{m}$$

Luego se calculó el volumen piramidal de la tolva.

*Ecuación 16. Volumen piramidal de la tolva. Fuente: (Romero, 2016).*

$$V_{\text{tolva}} = \frac{a * M * L}{3}$$

Donde:

**V<sub>tolva</sub>**: Volumen piramidal de la tolva, [m<sup>3</sup>]

**a**: Ancho del tanque, [m]

**L**: Largo del reactor, [m]

**M**: Lado de la tolva, [m]

Se reemplazó los valores en la ecuación 16:

$$V_{tolva} = \frac{1,59m * 0,56m * 3,19m}{3}$$
$$V_{tolva} = 0,96m^3$$

Y el tiempo de vaciado de la misma utilizando las siguientes expresiones:

*Ecuación 17. Caudal sólido de agua residual. Fuente: (Romero, 2016).*

$$Q_{sólido} = Q_{líquido} * ST$$

Donde:

**Q<sub>sólido</sub>**: Caudal de agua residual que contiene sólidos, [m<sup>3</sup>/día]

**Q<sub>líquido</sub>**: Caudal de agua residual líquida, [m<sup>3</sup>/día]

**ST**: Sólidos totales, [g/ m<sup>3</sup>]

Se reemplazó los valores en la ecuación 17:

$$Q_{sólido} = 0,05m^3/día$$

*Ecuación 18. Tiempo de vaciado de la tolva. Fuente: (Romero, 2016).*

$$t_v = \frac{V_{tolva}}{Q_{sólido}}$$

Donde:

**t<sub>v</sub>**: Tiempo de vaciado de la tolva, [día]

**V<sub>tolva</sub>**: Volumen piramidal de la tolva, [m<sup>3</sup>]

**Q<sub>sólido</sub>**: Caudal de agua residual que contiene sólidos, [m<sup>3</sup>/día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 18:

$$t_v = \frac{0,96m^3}{0,05m^3/día}$$
$$t_v = 18,69días$$

#### 4.4.4.3 Trampa de Grasas

Se toman los resultados de análisis de grasas y aceites realizados en el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, además se considera como tiempo de vaciado de la trampa de 1 día de funcionamiento.

Considerando las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 19. Volumen de grasas y aceites. Fuente: (Romero, 2016).*

$$V_{trampa\ grasa} = t_v * 2C_{GYA} * Q$$

Donde:

$V_{trampa\ grasa}$ : Volumen para la trampa de grasa, [m<sup>3</sup>]

$t_v$ : Tiempo de vaciado de la trampa de grasa, [día]

$C_{GYA}$ : Concentración de grasas y aceites, [Ml/L]

Se reemplazo los valores en la ecuación 19:

$$V_{trampa\ grasa} = 30\text{ días} * 2 * 34,2 \frac{mg}{L} * 314,52 \frac{m^3}{día} * \frac{1000La}{1m^3a} * \frac{0,001m^3G}{700gG} * \frac{1gG}{1000mgG}$$

$$V_{trampa\ grasa} = 0,922m^3$$

$$V_{Caja\ Pequeña} = \frac{0,922m^3}{2}$$

$$V_{Caja\ Pequeña} = 0,461m^3$$

*Ecuación 20. Relaciones de tamaño. Fuente: (Sánchez & Martínez, 2015).*

$$L = 2a = 3h$$

Se reemplazo los valores en la ecuación 20:

$$L * \frac{L}{2} * \frac{L}{3} = 0,922m^3$$

$$L = \sqrt[3]{0,922m^3 * 6}$$

$$L = 1,77m$$

$$a = \frac{L}{2}$$

$$a = \frac{1,77m}{2}$$

$$a = 0,88m$$

$$h = \frac{L}{3}$$

$$h = \frac{1,77m}{3}$$

$$h = 0,59m$$

*Ecuación 21. Dimensionamiento. Fuente: (Romero, 2016).*

$$V_{trampa\ grasa} = o * m * n$$

Donde:

**m:** 2/3 h

**n:** 2/3 L

**o:** a

Se reemplazo los valores en la ecuación 21:

$$o = a$$

$$o = 0,88m$$

$$m = \frac{2}{3} h$$

$$m = \frac{2}{3} (0,59m)$$

$$m = 0,39m$$

$$n = \frac{2}{3} L$$

$$n = \frac{2}{3} (1,77m)$$

$$n = 1,18m$$

#### 4.4.4.4 Sistema de aireación

En el sistema de aireación se utiliza el mismo caudal de agua que entra en el tanque sedimentador primario y el valor obtenido en el laboratorio de la DBO<sub>5</sub> del agua residual, utilizando la siguiente ecuación:

*Ecuación 22. Consumo. Fuente: (Romero, 2016, p. 405).*

$$\text{Consumo} = Q * [DQO] * 10^{-3}$$

Donde:

**Consumo:** Consumo de oxígeno, [kg/día]

**Q:** Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/día]

**DQO:** Valor de DQO, [kg/m<sup>3</sup>]

Se reemplazó los valores en la ecuación 22:

$$\text{Consumo} = 314,52 \text{ m}^3/\text{día} * \left[ \frac{1,093 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right] * 10^{-3}$$

$$\text{Consumo} = 343,77 \text{ kg/día}$$

Conociendo el consumo de oxígeno, se calculó el suministro de aire, con una concentración másica del 23,2% de oxígeno y una densidad de aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup> a 20°C, utilizando la siguiente ecuación:

*Ecuación 23. Suministro de aire. Fuente: (Romero, 2016, p. 405).*

$$C_{\text{aire}} = \frac{\text{Consumo}}{0,1 * 0,21 * 1,2 \text{ kg/m}^3}$$

Donde:

**C<sub>aire</sub>:** Suministro de aire requerido, [m<sup>3</sup>/día]

**Consumo:** Consumo de oxígeno, [kg/día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 23:

$$C_{\text{aire}} = \frac{343,77 \text{ kg/día}}{0,1 * 0,21 * 1,2 \text{ kg/m}^3}$$

$$C_{\text{aire}} = 14881,83 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para calcular el número de aireadores necesarios se utilizó el valor del caudal de cada aireador que en este caso fueron de 50m<sup>3</sup>/día siendo este un dato necesario para reemplazar en la siguiente expresión:

*Ecuación 24. Número de aireadores. Fuente: (Romero, 2016, p. 405).*

$$\text{Número de aireadores} = C_{aire}/Q_{aireador}$$

Donde:

**C<sub>aire</sub>**: Suministro de aire requerido, [m<sup>3</sup>/día]

**Q<sub>aireador</sub>**: Caudal de cada aireador, [m<sup>3</sup>/día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 24:

$$\text{Número de aireadores} = (14881,83\text{m}^3/\text{día})/200 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Número de aireadores} = 72 \text{ aireadores}$$

En el cálculo del número de blowers se utilizó la siguiente expresión:

*Ecuación 25. Potencia requerida para cada blower. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995, p. 443).*

$$P_w = \frac{w * R * T_1}{550 * n * e} * \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Donde:

**P<sub>w</sub>**: Potencia requerida para cada blower [hp]

**w**: Peso del flujo de aire, [lb/s]

**R**: Constante de gas para aire, [53,3 ft\*lb/lb air\*° R]

**T<sub>1</sub>**: Temperatura del lugar, [° R]

**n**: 0.283 para aire

**e**: Eficiencia, [rango de 0.70 a 0.90]

**p<sub>2</sub>**: Presión absoluta en la salida, [lb/in<sup>2</sup>]

**p<sub>1</sub>**: Presión absoluta en la entrada, [lb/in<sup>2</sup>]

Se reemplazó los valores en la ecuación 25:

$$P_w = \frac{\frac{0,41\text{lb}}{\text{s}} * 53,3\text{ft} * \frac{\text{lb}}{\text{lbart}} * ^\circ\text{R} * 522,27^\circ\text{R}}{550\text{ft} * \frac{\text{lb}}{\text{s} * \text{HP}} * 0,2883 * 0,80} * \left[ \left( \frac{0,88\text{atm}}{0,019\text{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 176,34\text{HP}$$



Una vez obtenido el resultado se procede a obtener el número de blowers, mediante la relación directa: 1 blower tiene de potencia 15 HP.

*Ecuación 26. Número de blowers. Fuente: (Romero, 2016).*

$$\text{Número de blowers} = P_w / P_{\text{blower}}$$

Donde:

$P_w$ : Potencia requerida para cada blower, [hp]

$P_{\text{blower}}$ : Potencia del blower a utilizarse, [hp]

Se reemplazó los valores en la ecuación 26:

$$\text{Número de blowers} = 176,34\text{HP} / 20\text{HP}$$

$$\text{Número de blowers} = 9 \text{ blowers}$$

#### 4.4.4.5 Tanque aireador

Para el diseño del tanque aireador con recirculación se utilizó las siguientes expresiones:

*Ecuación 27. Volumen del tanque cuando utiliza recirculación. Fuente: (Romero, 2016, p. 404).*

$$V = \frac{\theta_c * Q * Y * (S_o - S)}{X * (1 + k_d * \theta_c)}$$

Donde:

$V$ : Volumen del tanque, [m<sup>3</sup>]

$\theta_c$ : Tiempo de retención celular, [día]

$Q$ : Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/día]

$Y$ : Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa, [mg SSV/DBO] o [mg SSV/DQO]

$S_o$ : Concentración del afluente, [mg DQO/L]

$S$ : Concentración del sustrato que sale del aireador, [mgDQO/L]

$X$ : Concentración de sólidos suspendidos volátiles, [mgSSV/L]

$k_d$ : Coeficiente de mortalidad endógeno, [día<sup>-1</sup>]

Dimensionamiento:

*Ecuación 28. Relaciones de tamaño. Fuente: (Sánchez & Martínez, 2015).*

$$L = 2a = 3h$$

Se reemplazo los valores en la ecuación 27:

$$V = \frac{10 \text{ días} * 314,52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0,18236353 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DQO}} * \left( 1093 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{DQO} - 200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{DQO} \right)}{776,33 \frac{\text{mg SSV}}{\text{L}} * (1 + 0,0048436 \text{ día}^{-1} * 10 \text{ días})}$$

$$V = 147 \text{ m}^3$$

$$L = \sqrt[3]{147 \text{ m}^3 * 6}$$

$$L = 9,59 \text{ m}$$

$$a = \frac{L}{2}$$

$$a = 4,8 \text{ m}$$

$$h = \frac{L}{3}$$

$$h = 3,2 \text{ m}$$

*Ecuación 29. Tiempo de retención. Fuente: (Gortaire, 2015, p. 20).*

$$tr = \frac{V}{Q}$$

Donde:

**tr:** Tiempo de retención

**V:** Volumen del tanque del reactor, [m<sup>3</sup>]

**Q:** Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/día]

Se reemplazo los valores en la ecuación 29:

$$tr = \frac{V}{Q}$$

$$tr = \frac{147 \text{ m}^3}{314,52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$tr = 0,47 \text{ días}$$

#### 4.4.4.6 Sedimentador secundario

En el diseño del sedimentador secundario se utilizaron las siguientes ecuaciones. Para determinar el área del sedimentador se tomó el caudal proyectado anteriormente y se lo reemplazó en la siguiente expresión:

*Ecuación 30. Área del sedimentador secundario. Fuente: (Romero, 2016, p. 646).*

$$A = \frac{Q_{2045}}{\bar{Q}_{cs}}$$

Donde:

A: Área del sedimentador secundario, [m<sup>2</sup>]

$Q_{2045}$ : Caudal de agua residual para el año 2045, [m<sup>3</sup>/día]

$\bar{Q}_{cs}$ : Caudal promedio, [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día]. Valor utilizado 40 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>día.

Se reemplazó los valores en la ecuación 29:

$$A = \frac{314,52m^3/día}{40m/día}$$
$$A = 7,86m^2$$

Para el cálculo del caudal pico del afluente:

*Ecuación 31. Caudal pico. Fuente: (Romero, 2016, p. 646).*

$$Q_p = (2 + 1) * Q_{2045}$$

Donde:

$Q_p$ : Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, [m<sup>3</sup>/día]

$Q_{2045}$ : Caudal de agua residual para el año 2045, [m<sup>3</sup>/día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 30:

$$Q_p = (2 + 1) * 314,52m^3/día$$
$$Q_p = 943,56m^3/día$$

Para el cálculo del área del sedimentador para caudal pico:

*Ecuación 32. Área del sedimentador para el caudal pico. Fuente: (Romero, 2016, p. 646).*

$$A = \frac{Q_P}{Q_{P_{cs}}}$$

Donde:

**A:** Área del sedimentador, [m<sup>2</sup>]

**Q<sub>P</sub>:** Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, [m<sup>3</sup>/día]

**Q<sub>P<sub>cs</sub></sub>:** Caudal pico (carga superficial), [m/día]. Valor utilizado 60 m/día

Se reemplazó los valores en la ecuación 31:

$$A = \frac{943,56m^3/día}{60m/día}$$

$$A=15,72m^2$$

Para el flujo pico de sólidos:

*Ecuación 33. Flujo pico de sólidos. Fuente: (Romero, 2016, p. 646).*

$$Q_{PS} = Q_P * X$$

Donde:

**Q<sub>PS</sub>:** Flujo pico de sólidos, [kg/día]

**Q<sub>P</sub>:** Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, [m<sup>3</sup>/día]

**X:** Concentración de sólidos suspendidos volátiles, [mg SSV/L]

Se reemplazó los valores en la ecuación 32:

$$Q_{PS} = 943,56m^3/día * 776,33mg/L * 1000L/m^3 * 0,000001kg/mg$$

$$Q_{PS} = 732,51kg/día$$

Para el área de sedimentación requerida por carga de sólidos:

*Ecuación 34. Área de sedimentación por carga de sólidos. Fuente: (Romero, 2016, p. 646).*

$$A = \frac{Q_{PS}}{C_{PS}}$$

Donde:

**A:** Área de la sedimentación requerida, [m<sup>2</sup>]

**$Q_{PS}$** : Flujo pico de sólidos, [kg/día]

**$C_{PS}$** : Carga pico de sólidos, [kg/día\*m<sup>2</sup>]. Valor utilizado 245 kg/día\*m<sup>2</sup>

Se reemplazó los valores en la ecuación 33:

$$A = \frac{732,51 \text{ kg/día}}{245 \text{ kg/día} * m^2}$$
$$A = 2,98 m^2$$

En el cálculo del volumen del sedimentador se tomó en cuenta una profundidad de 3 m.

*Ecuación 35. Volumen sedimentador secundario. Fuente: (Gortaire, 2015, p. 18).*

$$V = A * h$$

Donde:

**V**: Volumen del sedimentador, [m<sup>3</sup>]

**A**: Área de sedimentación requerida en el caudal pico, [m<sup>2</sup>]

**h**: Profundidad, [m].

Se reemplazó los valores en la ecuación 34:

$$V = 15,72 m^2 * 3 m$$

$$V = 47,17 m^3$$

El sedimentador secundario que se va a diseñar es de forma circular, por lo tanto, para calcular el diámetro, se utilizó la fórmula del volumen de un cono. Se optó por esta forma de estructura debido a que es la fácil que sedimenten las partículas presentes en el agua residual.

*Ecuación 36. Volumen del cilindro. Fuente: (Romero, 2016, p. 643).*

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

Donde:

**V**: Volumen del cono, [m<sup>3</sup>]

**r**: Radio del cono, [m]

**h**: Altura del cono, [m]

Se reemplazó los valores en la ecuación 35, despejando el diámetro tomando en cuenta que diámetro=2radio.

$$\begin{aligned}\phi &= \sqrt[2]{4V/\pi * 3} \\ \phi &= \sqrt[2]{\frac{4(47,17\text{m}^3)}{\pi * 3}} \\ \phi &= 4,47\text{m}\end{aligned}$$

Luego se calculó a carga de rebose sobre el vertedero perimetral para el caudal pico, con la siguiente ecuación:

*Ecuación 37. Carga de rebose. Fuente: (Romero, 2016, p. 644).*

$$CV = \frac{Q_p * 1000}{\pi * \phi * 86400}$$

Donde:

**CV:** Carga de rebose, [L/sm], este valor debe ser <4,5

**Q<sub>p</sub>:** Caudal pico del afluente al sedimentador secundario, [m<sup>3</sup>/día]

**φ:** Diámetro del sedimentador, [m]

Se reemplazó los valores en la ecuación 36:

$$\begin{aligned}CV &= \frac{943,56\text{m}^3/\text{día} * 1000}{\pi * 6,71\text{m} * 86400} \\ CV &= 0,52\text{L/sm}\end{aligned}$$

Por último, se calculó el tiempo de retención.

*Ecuación 38. Tiempo de retención. Fuente: (Gortaire, 2015, p. 23).*

$$\theta = \frac{V * 24}{Q_{2045}}$$

Donde:

**θ:** Tiempo de retención, [día]

**V:** Volumen del sedimentador, [m<sup>3</sup>]

**Q<sub>2045</sub>:** Caudal de agua residual para el año 2045, [m<sup>3</sup>/día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 37:

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{47,17\text{m}^3 * 24}{314,52\text{m}^3/\text{día}} \\ \theta &= 3,6\text{h}\end{aligned}$$

#### 4.4.4.7 Tanque cloración

Primero se calculó la capacidad del tanque de cloración a diseñar mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 39. Volumen del tanque de cloración. Fuente: (Gortaire, 2015, p. 20).*

$$V = Q * t$$

Donde:

**V:** Volumen del tanque de cloración, [m<sup>3</sup>]

**Q:** Caudal de agua residual, [m<sup>3</sup>/día]

**t:** Tiempo de retención, [día]

Se reemplazó los valores en la ecuación 38:

$$V = 314,52m^3/día * 0,021día$$

$$V = 6,55m^3$$

Posteriormente con la fórmula del volumen de un cilindro se calculó el radio, teniendo en cuenta emplear una altura de 2 m, ya que esta es una medida estándar de los encofrados para construcción en el Ecuador (Arrieta & Chica, 2019)

*Ecuación 40. Volumen del cilindro. Fuente: (Romero, 2016, p. 643).*

$$V = \pi * r^2 * h$$

*Ecuación 41. Fórmula despejada: radio del cilindro. Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.*

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}}$$

Donde:

**V:** Volumen del cilindro, [m<sup>3</sup>]

**h:** Altura del cilindro, [m]

Se reemplazó los valores en la ecuación 40:

$$r = \sqrt{\frac{6,55m^3}{\pi * 2}}$$

$$r=1,02m; \varnothing = 2,04m$$

#### 4.4.4.8 Determinación de la cantidad de cloro

Para la determinación de la cantidad de hipoclorito de sodio se utiliza la siguiente expresión:

*Ecuación 42. Para la reducción de organismos. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995, p. 385).*

$$\frac{N_t}{N_o} = (1 + 0,23 * C_t * t)^{-3}$$

$$C_t = \frac{\sqrt[3]{\frac{N_o}{N_t}} - 1}{0,023 * t}$$

Donde:

$N_t$ : Número de organismos coliformes en el instante t, [UFC/100 mL]

$N_0$ : Número de organismos coliformes en el instante  $t_0$ , [UFC/100 mL]

$C_t$ : Cloro residual medido en el instante de tiempo t, [mg/L]

$t$ : Tiempo de permanencia, [min]

Se reemplazo los valores en la ecuación 41:

$$C_t = \frac{\sqrt[3]{\frac{N_o}{N_t}} - 1}{0,023 * t}$$

$$C_t = \frac{\sqrt[3]{\frac{950000}{1800000}} - 1}{0,023 * 30}$$

$$C_t = 1,39652704 \text{ mg/L}$$

#### 4.4.4.9 Lecho de secado

Se debe mencionar que para poder continuar con la investigación se tomó de referencia el trabajo realizado por Arrieta & Chica, (2019) ya que, los análisis realizados corresponden a San José de Ayora, dentro del cual se encuentra la comunidad de Paquiestancia. Por lo tanto, se utilizaron los resultados de tasas calculadas para el diseño del lecho de secado de lodos, provenientes de la planta piloto realizada en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.



Para el diseño de lecho de secado se utilizó la tasa de lodos calculado por Arrieta & Chica, (2019) en base a las siguientes tablas:

**Tabla 21**

*Tasa de lodos activos Tesis Ayora.*

Experiencia	DQO afluente mg/L	DQO efluente mg/L	tiempo de retención (horas)	Tiempo de retención celular	mg SSVLM/L
	$S_0$	$S$	$\Theta$	$\Theta_c$	$X$
1	2828	10	14,4	23,4	128
2	2828	13	9	16,2	125
3	2828	18	7,2	12,15	133
4	2828	30	4,95	9,9	129
5	2828	41	4,95	4,95	121

*Nota.* Tomado de Arrieta & Chica (2019, p. 55).

**Tabla 22**

*Determinación de tasa de lodos activos.*

$S_0.S$	$X\theta_c$	$X\theta_c/(S_0.S)$	$1/S$	$1/\theta_c$	$(S_0.S) / X\theta_c$
mg/L	Mg	d	L/mg	$d^{-1}$	$d^{-1}$
SSV*d/L					
<b>2818</b>	2995,200	1,063	0,100	0,043	0,941
<b>2815</b>	2025,000	0,719	0,077	0,062	1,390
<b>2810</b>	1615,950	0,575	0,056	0,082	1,739
<b>2798</b>	1277,100	0,456	0,033	0,101	2,191
<b>2787</b>	598,950	0,215	0,024	0,202	4,653

*Nota.* Tomado de Arrieta & Chica (2019, p. 55).

Las constantes utilizadas para obtener la tasa de producción de lodos fueron tomadas de Arrieta & Chica, (2019) página 56 debido a que su trabajo fue realizado en la Parroquia Ayora.

Kd:0,0048436 [dia-1]

Y: 0,0426593 [mg SSV/DQO].

La tasa de producción de lodos activados con recirculación se determinó mediante la siguiente ecuación:

*Ecuación 43. Tasa de producción de lodos. Fuente: (Romero, 2016)*

$$P_X = \frac{Y * Q * (S_o - S_e)}{1 + k_d * \theta_c}$$

Donde:

**P<sub>x</sub>**: Tasa de producción de lodos, [g/día]

**Θ<sub>c</sub>**: Edad de lodos, [día]

**S<sub>o</sub>**: DBO5 afluente determinada, [mg /L]

**S**: DBO afluente deseada, [mg/L]

**Q**: Caudal efluente, [m<sup>3</sup>/día]

**k<sub>d</sub>**: Coeficiente declinación endógena, [día<sup>-1</sup>]

**Y**: Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa, [mg SSV/DBO] o [mg SSV/DQO]

Se reemplazo los valores en la ecuación 43:

Para el diseño de la infraestructura se considera la siguiente expresión:

$$P_X = \frac{0,0426 \frac{mg \text{ SSV}}{mg \text{ DQO}} * 314,52 \frac{m^3}{día} * (1093 - 200) \frac{mg}{L} * \frac{1000 L}{m^3}}{1 + 0,0048436 día^{-1} * 10 días}$$

$$P_X = 11412150 \frac{mg}{día}$$

$$P_X = 11412150 \frac{mg}{día} * \frac{1g}{1000mg}$$

$$P_X = 11412,15 \frac{g}{día} * \frac{1kg}{1000g}$$

$$P_X = 11,41 \frac{kg}{día}$$

Para el diseño de la infraestructura se considera la siguiente expresión:

*Ecuación 44. Área de lecho de secado. Fuente: (Romero, 2016).*

$$A_{LS} = P_X * 0,45 * (T_e - T) * R_s * 2$$

Donde:

**A<sub>LS</sub>**: Área del lecho de secado, [m<sup>2</sup>]

**P<sub>x</sub>**: Tasa de producción de lodos, [ton/día]

**Te:** Temperatura del lugar, [ C]

**T:** Temperatura de ebullición, [C]

**Rs:** Radiación solar del lugar, [ 1,611Kw/m<sup>2</sup>]

Se reemplazo los valores en la ecuación 44:

$$A_{LS} = 11,41 \frac{kg}{día} * 0,45 * ((97 - 17) + 540) * \frac{4,17 J}{1 cal - g} * \frac{s * Kw}{1000J} * \frac{m^2}{1,611Kw} * 2$$

$$A_{LS} = 35,30 \frac{kg}{día} * \frac{s * m^2}{g} * \frac{1 día}{86400s} * \frac{1000g}{1kg} * 2$$

$$A_{LS} = 0,19 m^2$$

El valor de la radiación fue tomado de datos proporcionados el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Según Romero Rojas J. A., (2004), existen criterios para tomar en cuenta en el diseño de lecho de secado de arena, como se muestra a continuación:

**Tabla 23**

*Criterios para el diseño de lecho de secado de arena.*

Características	Criterio
<b>Área requerida per cápita</b>	
Lodo primario	0,09 m <sup>2</sup> /c
Lodo primario y filtro percolador	0,15 m <sup>2</sup> /c
Lodo primario y lodos activos	0,28 m <sup>2</sup> /c
Lodos precipitados químicamente	0,18 m <sup>2</sup> /c
Otros lodos	0,1-0,25 m <sup>2</sup> /c
<b>Carga de sólidos secos</b>	
Lodo primario	134 kg/ m <sup>2</sup> , año
Lodo primario y filtro percolador	110 kg/ m <sup>2</sup> , año
Lodo primario y lodos activos	73 kg/ m <sup>2</sup> , año
Lodos precipitados químicamente	110 kg/ m <sup>2</sup> , año
Altura sobre la arena	0,50-0,90 cm
Diámetro de tubería de drenaje principal	> 0,10 m
Pendiente de tubería de drenaje principal	> 1%
Distancia entre drenajes principales	2,5-6 m
Distancia entre tuberías laterales de drenaje	2,5-3 m
Espesor de grava	20-46 cm
Tamaño de grava	3-25 mm
Profundidad de arena	20-46 cm
Coefficiente de uniformidad de la arena	<4
Tamaño efectivo de la arena	0,3-0,75 mm
Ancho del lecho para limpieza manual	7,5 m
Longitud de lecho de secado	<60 m

Decantadores	Sobre el perímetro
Placa de salpicamiento	0,9 x 0,9 x 0,1 m, para el control de erosión de la arena
Rampas de acceso en concreto	A lo largo del eje central de los lechos para remoción de pasta con volquetas
Cobertura	Plástico reforzado de fibra de vidrio
Profundidad de aplicación	20-40 cm
Operación	En remoción manual la pasta de tener un 30-40% de sólidos
Control	El bórax y el borato de calcio permiten el control de moscas, siendo estos compuestos no peligrosos para personas ni animales. Se debe rociar el lodo entre las grietas.

*Nota.* Tomado de Romero (2016, p. 833).

#### 4.4.4.10 *Diseño del sistema sanitario*

Para la obtención del sistema sanitario se utiliza las siguientes expresiones:

*Ecuación 45. Radio hidráulico. Fuente: (Romero, 2016).*

$$R = \frac{D_o}{4} \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$

*Ecuación 46. Área de la tubería. Fuente: (Romero, 2016).*

$$A = \frac{D_o^2}{8} (\theta - \sin \theta)$$

*Ecuación 47. Manning. Fuente: (Romero, 2016, p. 92).*

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} A S^{\frac{1}{2}}$$

Las ecuaciones 48 y 49 son reemplazadas en la ecuación 50 para obtener el  $D_0$ , una vez obtenido el diámetro se lo reemplaza en la ecuación 50 nuevamente para obtener el nuevo  $\theta$  y el resultado obtenido se compara con la norma "NTC 3722-3 Serie S8", para posteriormente utilizar un valor mayor al del diámetro calculado.

Se reemplazo los valores en la ecuación 44,45 y 46:

$$Q = \frac{1}{n} \left( \frac{D_o}{4} \left( 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{D_o^2}{8} (\theta - \sin \theta) \right) * \sqrt{s}$$

$$D_o = 5,88 * 10^{-2} m$$

$$D_1 = 0,097 m$$

$$\theta = 2,558 rad$$

$$R = \frac{0,097}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen } 2,558}{2,558} \right)$$

$$R = 0,001m$$

$$A = \frac{(0,097)^2}{8} (2,558 - \text{sen } 2,558)$$

$$A = 2,34 * 10^{-3} m^2$$

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados

Una vez obtenido los resultados mediante los respectivos análisis y métodos se proponen como solución a la auditoría realizada, la ampliación de tanques sépticos en la planta 1, 2 y 3 y la realización de la planta de tratamiento de agua residual en la planta 4.

A continuación, se pueden observar cada uno de los resultados obtenidos tanto en la fase de campo como en la fase de laboratorio. Además de la obtención del diseño de la planta de lodos activados y las estructuras nuevas para la ampliación de las plantas actuales en la comunidad.

#### 5.1.1 Parámetros básicos de calidad.

**Tabla 24**

*Resultados de análisis de agua residual de cada planta de tratamiento*

Número de PTAR	Fecha de análisis	pH		POR, [mV]		Turbidez [NTU]		Temperatura [°C]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	06/06/2019	6,67	6,90	105	-79	149,9	87,12	15,8	15,6
2	06/06/2019	7,12	7,11	99	100	48,26	58,19	18,6	18,7
3	06/06/2019	6,91	6,81	22	16	37,26	18,88	19,3	18,4
4	06/06/2019	7,23	7,51	99	86	113,8	63,54	17,8	15,9

*Nota.* \*Esta tabla muestra que en la medición de POR de la Planta 1 en la entrada se encuentra en condiciones aerobias con oxígeno y nitratos como aceptadores de electrones mientras que en la salida en condiciones anaerobias, en la Planta 2 la entrada y salida se encuentra en condiciones aerobias con oxígeno y nitratos como aceptadores de electrones, para la planta 3 tanto la entrada como la salida se encuentra en condiciones anóxicas con  $\text{NO}_3^-$  como aceptador de electrones y en la Planta 4 en la entrada y salida en condiciones aerobias con oxígeno y nitratos como aceptadores de electrones (Romero, 2016, p. 67). Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.2 Sólidos sedimentables

**Tabla 25**

*Sólidos sedimentables Planta 1*

<b>T (min)</b>	<b>Entrada (mL)</b>	<b>Salida (mL)</b>
1	0,1	0
3	0,2	0,3
5	1	0,6
10	1,4	0,8
15	2	1

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 26**

*Sólidos sedimentables Planta 2*

<b>T (min)</b>	<b>Entrada (mL)</b>	<b>Salida (mL)</b>
1	0,1	0,1
3	0,25	0,5
5	0,3	0,7
10	0,4	0,8
15	0,5	1

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 27**

*Sólidos sedimentables Planta 3*

<b>T (min)</b>	<b>Entrada (mL)</b>	<b>Salida (mL)</b>
1	0	0,1
3	0	0,1
5	0,1	0,1
10	0,1	0,1
15	0,1	0,1

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 28**

*Sólidos sedimentables Planta 4*

<b>T (min)</b>	<b>Entrada (mL)</b>	<b>Salida (mL)</b>
3	0,5	0,3
5	0,98	0,4
14	0,9	0,5
20	0,9	0,6
30	0,9	0,7
40	0,9	0,8
50	0,9	0,8
60	1	0,8

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.3 Nutrientes en el agua residual.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 29**

*Resultados de nutrientes de cada PTAR*

PLANTA		mg/L					FÓSFORO
		NITRATO		NITRITO		P	
		NO3-N	NO3-	NO2-	NO2-N		
1	Entrada	4,3	19,5	14	4	20	0
	Salida	4,6	20,5		0		0
2	Entrada	0			0		0
	Salida	3,3	14,5		0		0
3	Entrada	0		2	1	3	0
	Salida	0		2	1	3	0
4	Entrada	23,1	102,5	8	2	12	0
	Salida	28,9	128,1		0		0

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.



### 5.1.4 Cargas contaminantes DBO<sub>5</sub> y DQO

**Tabla 30**

*DQO plantas de la Comunidad Paquiestancia.*

	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	
	ENTRADA	SALIDA
Planta 1	634	292
Planta 2	288	134
Planta 3	57,5	61

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 31**

*DBO plantas de la Comunidad Paquiestancia*

	DQO (mg/L)	
	ENTRADA	SALIDA
Planta 1	1093	1114
Planta 2	496	446
Planta 3	98,62	509
Planta 4	777	1648

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.5 Oxígeno Disuelto de la comunidad de Paquiestancia

**Tabla 32**

*Oxígeno disuelto Planta 1*

Planta		Alícuota	Od inicial (mg/l)	Od final (mg/l) (5d)
1	ENTRADA	5	15,6	16,81
		10	15,45	15,51
		20	14,41	15,23
	SALIDA	5	15,68	15,18

BLANCO	10	16,03	14,45
	20	16,2	15,1
	5	15,93	13,97
	10	14,82	14,48
	20	15,9	14,2

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 33**

*Oxígeno disuelto Planta 2*

Planta		Alícuota	Od inicial (mg/l)	Od final (mg/l) (5d)
2	ENTRADA	5	14,83	14,31
		10	15,79	14,07
		20	15,79	14,55
	SALIDA	5	15,7	14,41
		10	14,61	14,63
		20	15,05	14,16
	BLANCO	5	15,93	13,97
		10	14,82	14,48
		20	15,9	14,2

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 34**

*Oxígeno disuelto Planta 3*

Planta		Alícuota	Od inicial (mg/l)	Od final (mg/l) (5d)
3	ENTRADA	5	15,1	15,32
		10	15,29	14,66
		20	15,36	14,81

SALIDA	5	16,9	14,34
	10	15,49	14,14
	20	14,79	14,31
BLANCO	5	15,93	13,97
	10	14,82	14,48
	20	15,9	14,2

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Tabla 35**

*Oxígeno disuelto Planta 4.*

Planta		Alícuota	Od inicial (mg/l)	Od 5 días (mg/l)
4	ENTRADA	5	18	18,63
		10	21,05	18,65
		20	21,41	18,67
	SALIDA	5	19,38	18,38
		10	20,05	18,86
		20	19,22	20,37
	BLANCO	5	17,4	19,01
		10	18,04	18,76
		20	18,56	18,5

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.6 Coliformes totales y fecales

Los resultados se obtuvieron a través del análisis de laboratorio de suelo y agua en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cayambe, como se muestra a continuación.

**Tabla 36**

*Coliformes totales y fecales*

Parámetro	Unidad	Valor
Coliformes totales	ufc/100 mL	$1.8 \times 10^6$
Coliformes fecales	ufc/100 mL	$9.6 \times 10^5$

*Nota.* Tomado de Informe de laboratorio de suelos y agua, UPS Cayambe, 2019.

### 5.1.7 Resultados de Diseño de la PTAR de lodos activos

### 5.1.8 Dimensiones

Los planos realizados de la planta de tratamiento de agua residual de lodos activos (Como se muestra en el Anexo 3, Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30).

### 5.1.9 Criba

En la tabla 37, se puede apreciar las dimensiones de la criba.

**Tabla 37**

*Dimensiones de la criba*

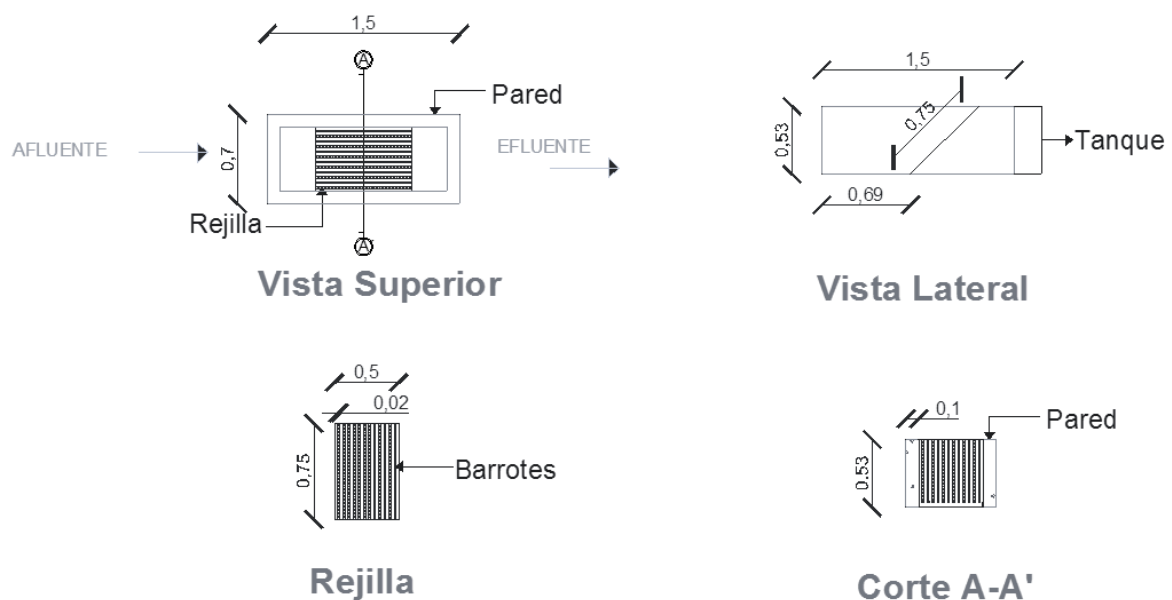
Denominación	Cifra
Largo (L)	0,75 m
Ancho (a)	0,50 m
Altura (h)	0,53 m
Área Específica (Ae)	0,38 m <sup>2</sup>
Numero de barrotes (N)	12

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

Además, en la Figura 16 se puede apreciar el esquema de la criba.

**Figura 15**

*Criba.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.10 Sedimentador Primario

Luego del pasar por la criba, es necesario la implementación de un pretratamiento, para el cual se tomó en cuenta la proyección calculada para el caudal, y de esta forma obtener las dimensiones de la estructura.

**Tabla 38**

*Dimensiones del sedimentador primario*

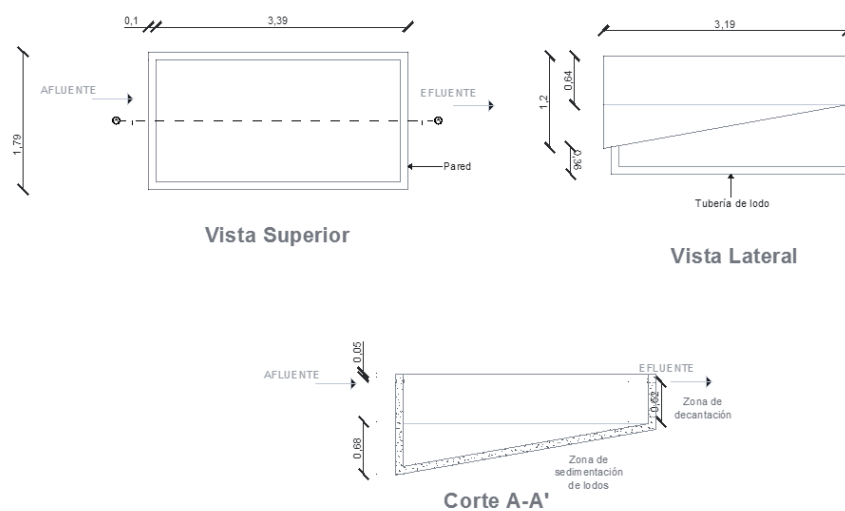
Denominación	Cifra
Largo (L)	3,20 m
Ancho (a)	1,60 m
Altura (h)	0,64 m
Volumen (V)	3,27 m <sup>3</sup>
Lado de la tolva (M)	0,56 m
Volumen piramidal de la tolva (Vp)	0,96 m <sup>3</sup>
Tiempo de vaciado (t <sub>v</sub> )	18,69 días

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 17 se puede apreciar el esquema del sedimentador primario.

**Figura 16**

*Sedimentador primario.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.11 Trampa de grasa

En la tabla 39, se puede apreciar la trampa de grasas en la cual incluye la caja para retención de grasas y aceites denominada caja pequeña.

**Tabla 39**

*Dimensiones de la trama de grasas*

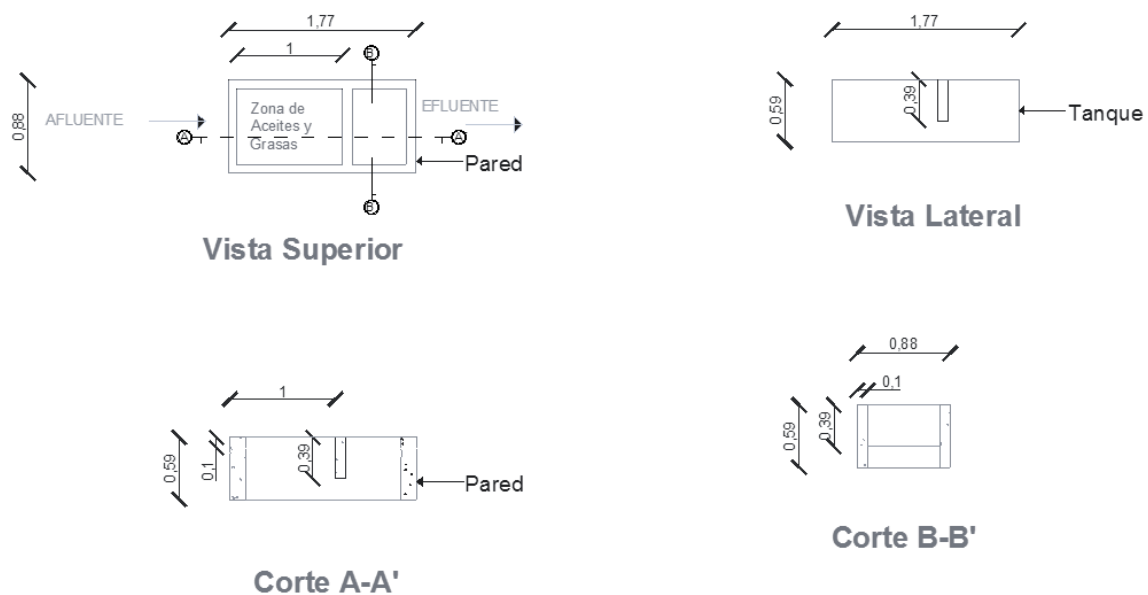
Denominación	Cifra
Largo caja grande (L)	1,77 m
Ancho caja grande (a)	0,88 m
Altura caja grande (h)	0,59 m
Ancho caja pequeña (m)	0,39 m
Largo caja pequeña (n)	1,18 m

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 18 se puede apreciar el esquema de la trampa de grasas.

**Figura 17**

*Trampa de Grasas.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.12 Sistema de Aireación

**Tabla 40**

*Dimensiones del sistema de aireación*

<b>Denominación</b>	<b>Cifra</b>
Consumo de oxígeno	343,77 kg/m <sup>3</sup>
Suministro de aire requerido ( C <sub>aire</sub> )	14881,83 m <sup>3</sup> /día
Número de blowers	9
Número de aireadores	72
Potencia (Pw)	176,34 caballos de fuerza

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.13 Tanque de Aireación

En la tabla 41 se puede apreciar las dimensiones del tanque de aireación:

**Tabla 41**

*Dimensiones tanque aireador*

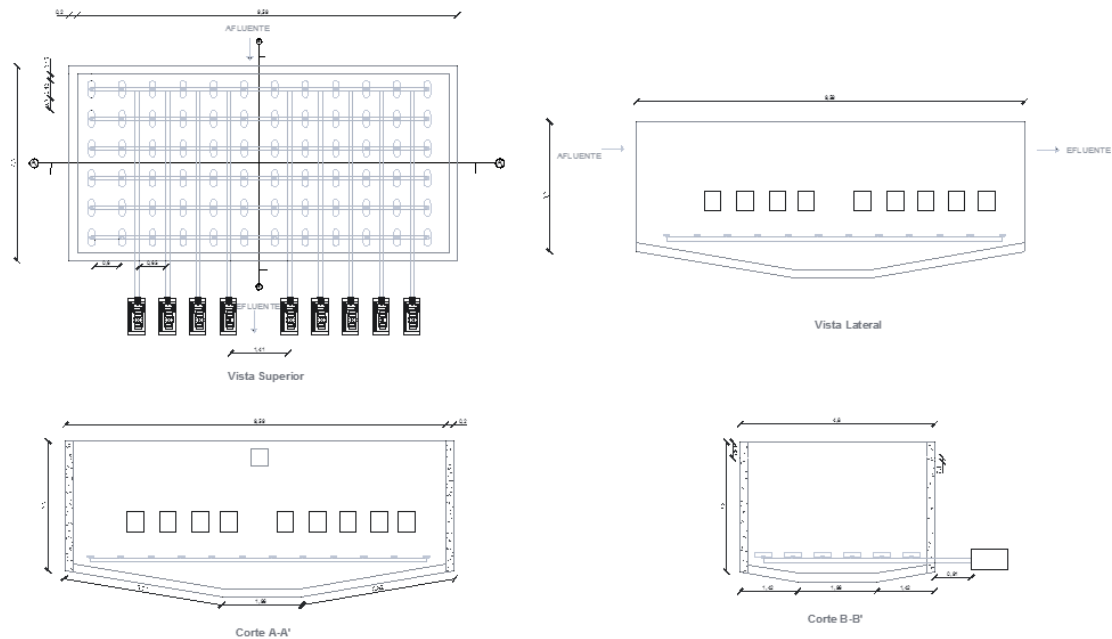
<b>Denominación</b>	<b>Cifra</b>
Largo (L)	9,59 m
Ancho (a)	4,80 m
Altura (h)	3,2 m
Volumen (V)	147 m <sup>3</sup>
Lado de la tolva (M)	3,16 m
Tiempo de retención (tr)	11 h

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 19 se puede apreciar el esquema del sistema de aireación y al tanque aireador.

**Figura 18**

*Sistema de aireación, tanque aireador.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

#### 5.1.14 Sedimentador Secundario

Para el sedimentador secundario se debe mencionar que la forma elegida es cónica, dando como resultado las dimensiones presentes en la siguiente tabla.

**Tabla 42**

*Dimensiones del sedimentador secundario*

Denominación	Cifra
Altura (h)	3 m
Diámetro (Ø)	4,47 m
Volumen (V)	47,17 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención (t <sub>r</sub> )	3,6 h

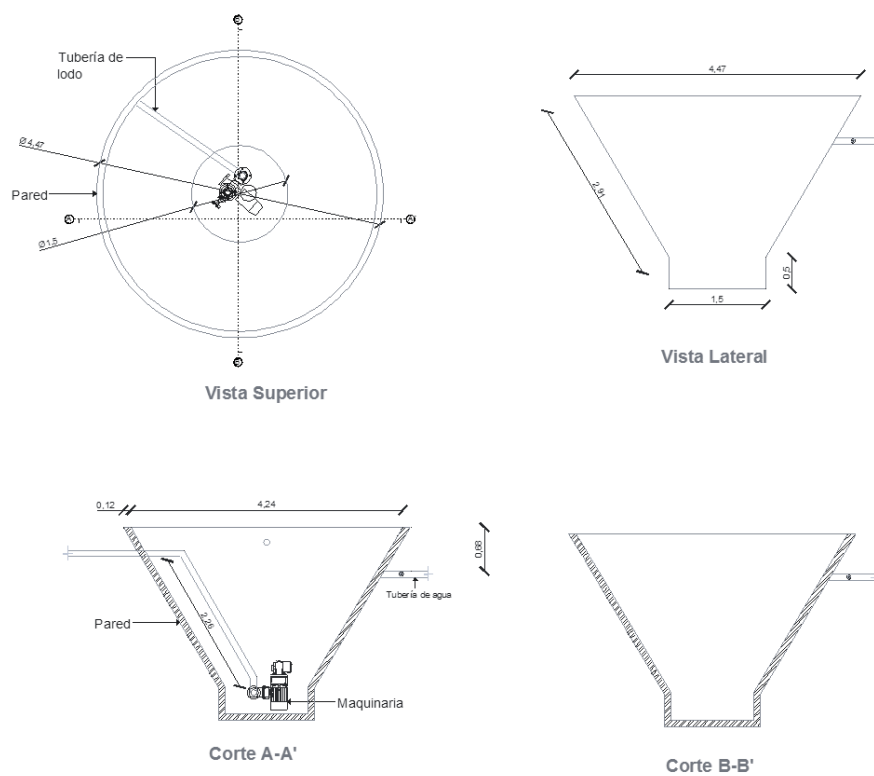
*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 20 se puede apreciar el esquema del sedimentador secundario.



**Figura 19**

*Sedimentador secundario.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.15 Tanque de cloración

El tanque de cloración consta de las siguientes dimensiones.

**Tabla 43**

*Dimensiones del tanque de cloración*

Denominación	Cifra
Altura (h)	2 m
Diámetro (Ø)	2,04 m
Volumen (V)	6,55 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención (t <sub>r</sub> )	30 min

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.16 Cantidad de cloro

**Tabla 44**

*Cantidad de cloro*

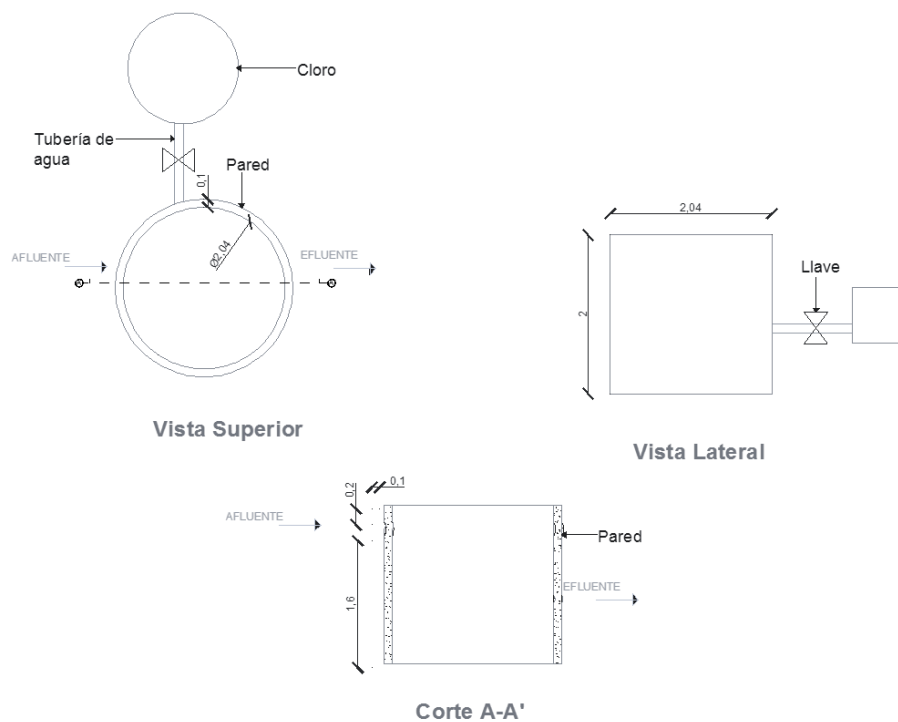
Denominación	Cifra
Cantidad de cloro (Ct)	6,59 mg/L

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 21 se puede apreciar el esquema del tanque de cloración.

**Figura 20**

*Tanque de cloración.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.17 Lecho de secado de lodos

En la Tabla 45, se indican las dimensiones y otros valores de la estructura del lecho de secado.

**Tabla 45**

*Dimensiones del lecho de secado de lodos.*

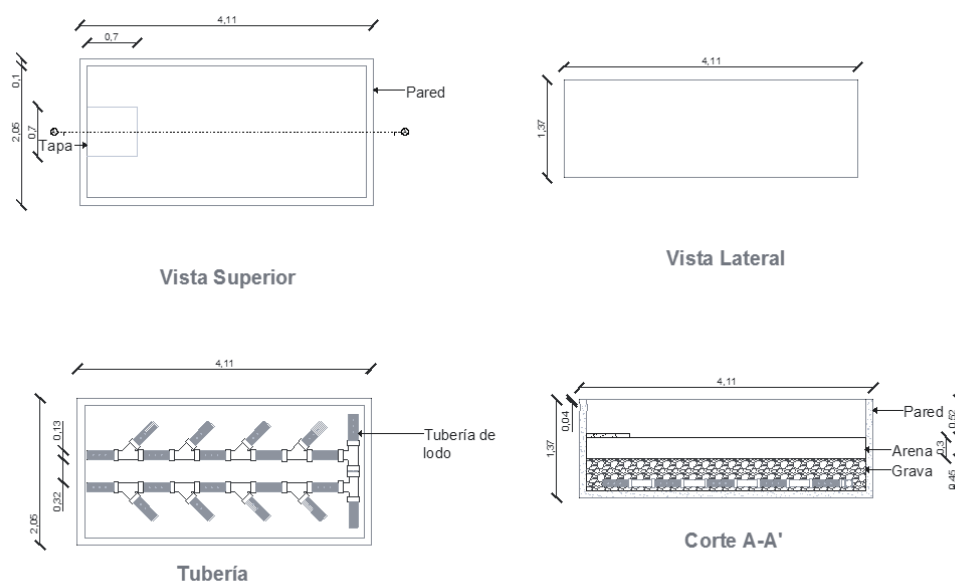
Denominación	Cifra
Largo (L)	4,11 m
Ancho (a)	2,05 m
Altura (h)	0,52 m
Capa de arena	0,30
Capa de grava	0,45

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

En la Figura 22 se puede apreciar el esquema del lecho de secados.

**Figura 21**

*Tanque de Lecho de secados.*



*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.18 Dimensionamiento Sanitario

**Tabla 46**

*Dimensiones tubería*

Sigla	Unidades	Denominación	Cifra
R	m	Radio hidráulico	0,01
A	m <sup>2</sup>	Área tubería	2,34*10 <sup>-3</sup>
Do	m	Diámetro	0.097
Θ	rad	Angulo	2,558

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

### 5.1.19 Dimensiones de nuevos tanques

Los planos realizados sobre la ampliación de los tanques en las plantas de tratamiento de agua residual (como se muestra en el Anexo 2, Figura 23, Figura 24 e Figura 25).

#### **Planta 1**

Las dimensiones para el tanque adicional en la planta 1 se pueden apreciar en la tabla 41.

**Tabla 47**

*Dimensiones tanque planta 1*

Sigla	Unidad	Denominación	Cifra
V	m <sup>3</sup>	Volumen tanque	60,30
a	m	Ancho	3,56
L	m	Largo	7,13
h	m	Altura	2,38

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

#### **Planta 2**

Para la planta se dimensionaron 4 tanques, en la tabla 42 se puede apreciar las dimensiones.

**Tabla 48***Dimensiones tanques planta 2*

<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cifra</b>
V	m <sup>3</sup>	Volumen total del tanque	2033,60
a	m	Ancho	5,64
L	m	Largo	11,27
h	m	Altura	2,00

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**Planta 3**

Para la planta se dimensionaron 3 tanques, en la tabla 43 se puede apreciar las dimensiones.

**Tabla 49***Dimensiones tanques planta 3*

<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cifra</b>
V	m <sup>3</sup>	Volumen total del tanque	687,60
a	m	Ancho	4,37
L	m	Largo	8,74
h	m	Altura	2

*Nota.* Elaborado por: Espinosa & Lizano, 2019.

**5.2 Discusión**

Los resultados obtenidos en el diseño de la planta de tratamiento de lodos activados para la comunidad de Paquiestancia satisfacen parámetros de funcionamiento para la planta, como se lo define en Castillo Reinoso & Guerra Huilca (2014) y Vidal & Chamorro (2015). Aquí se mencionan que elementos tradicionales constituyentes de la tecnología de lodos activados que son: el tanque aireador, tanque sedimentador y lecho de secado para que el funcionamiento de la planta cumpla con valores operacionales como: tiempos de retención, relaciones de materia orgánica y nutrientes, concentración de sólidos y edad de lodo.

Las estructuras diseñadas para la planta de tratamiento de lodos activos cumplen con la teoría establecida en Romero Rojas J, (2016) y mencionadas en el presente escrito, tales como en la Tabla 20 donde están las características para el diseño de la rejilla. En las dimensiones del sedimentador primario se observa que cumple con los valores de: relación 5/1 para el ancho con un rango de 3 m a 24 m, profundidad mayor o igual a 2 metros y una longitud menor de 90 metros, en las dimensiones de la trampa de aceites y grasas cuenta con una distancia apropiada entre la entrada y la salida que permite la separación diferencial por gravedad para que no exista escape de grasas en la salida. Para el diseño del sistema de aireación se empleó las condiciones estándar de presión y temperatura que se utilizaron para el cálculo de la potencia y cantidad requerida de los blowers. Además, un sedimentador secundario que cumple con la profundidad establecida en la Tabla 22.3 de Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios en el libro de Romero Rojas, J (2016) página 644, el tanque de cloración tiene una profundidad establecida de 2 metros con un tiempo de retención de 30 minutos, cuya cantidad de cloro es de 1, 40 mg/L lo cual permitirá que el tanque tenga una eficiencia del 99% y el lecho de secados consta con una capa de arena y grava, cuya estructura tiene una longitud menor a 60 metros para su correcto funcionamiento.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Como resultado del proyecto se obtiene el diseño de una planta de tratamiento de agua residual de lodos activos con un caudal proyectado para el año 2045 de 314,52 m<sup>3</sup>/día para una población de 2621 habitantes en la comunidad de Paquiestancia, en donde se recomienda la construcción de estructuras tales como: criba, sedimentador primario, trampa de grasas, sedimentador secundario, sistema de aireación, tanque de cloración y lecho de secados.

Los resultados de eficiencia obtenidos en la auditoría que se pueden apreciar en el Tabla 13, 14, 15 y 16 correspondientes a las cuatro plantas de tratamiento existentes en la comunidad, demuestran que los parámetros como la turbidez, DQO, DBO<sub>5</sub>, nitritos y nitratos, no cumplen con lo establecido en la "*Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua tabla 1 y 2*", es decir, se encuentran en mal funcionamiento, por lo que se realizó el diseño de nuevos tanques sépticos en tres plantas de tratamiento, y en lugar de la planta cuatro se tiene previsto la implementación de la planta de tratamiento de lodos activos diseñada en el presente trabajo.

Con el esquema realizado que se detalla en el plano de diseño de la planta de lodos activos (detallado en el Anexo 3, Figura 30) se concluye que es necesario un espacio con las siguientes dimensiones: 22, 66 m de longitud por 16,78 m de ancho, el cuál ocupará un área total de 380,23 m<sup>2</sup>. En el diseño sanitario se utiliza una tubería de PVC con un diámetro de 4 pulgadas.

## **6.2 Recomendaciones**

Para la construcción de la Planta de Tratamiento de lodos activos se sugiere realizar una topografía detallada del terreno donde se pretende implantar las estructuras con la tecnología de lodos activados.

Se recomienda tomen este documento como directriz para la implementación inmediata de la planta de tratamiento de lodos activos, que beneficiará a la comunidad. Además de realizar posteriormente la socialización de la investigación como parte del convenio con la Comunidad de Paquiestancia y la Universidad Politécnica Salesiana.

Una vez creada la nueva planta de tratamiento es importante que se realice un mantenimiento continuo de las estructuras, para que los valores de eficiencia sean los indicados y las plantas funcionen correctamente.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador. (2008). *Oas*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Arce Velázquez, A., Calderón Mólgora, C., & Tomasini Ortiz, A. (2019). *Bvsde.paho.org*. Obtenido de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos\\_tecnicos.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/fundamentos_tecnicos.pdf)
- Arrieta, R., & Chica, A. (Julio de 2019). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con tecnología de Lodos Activos, para la parroquia de San José de Ayora, Cayambe*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17584/1/UPS%20-%20ST004155.pdf>
- Ayora. (2015). *ACTUALIZACIÓN PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE AYORA, CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA*. Cayambe.
- Barba OH, L. E. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Obtenido de Universidad del Valle: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>
- Benalcazar Játiva, G. (2015). *PUCE*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10547/Diagnóstico%20de%20la%20economía%20local%2C%20el%20caso%20del%20cantón%20Cayambe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cabrera Ramírez, Y. (Febrero de 2019). *Weebly*. Obtenido de [http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/flujo\\_turbulento-1\[2\]-\\_cabrera.pdf](http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/flujo_turbulento-1[2]-_cabrera.pdf)

Casanova, L. (19 de Mayo de 2003). *Capítulo 7: Levantamientos topográficos*. Obtenido de ULA: [http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia\\_plana/pdf/CAP-7.pdf](http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/CAP-7.pdf)

Castillo Reinoso, A., & Guerra Huilca, M. (2014). *Epoch*. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/3403/1/236T0097%20.pdf>

CEPAL. (2011). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en el Ecuador*. Obtenido de SENAGUA: <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>

CEPIS. (11 de Agosto de 2008). *Fundamentos en el tratamiento de agua potable*. Obtenido de BVSDE: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041225/041225-04.pdf>

Chimarro Cabascango, R., & Robalino Farinango, M. (2012). *UPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3431/1/UPS-QT02909.pdf>

Chiriboga Sisalema, I. (Enero de 2016). *Universidad Catolica del Ecuador*. Obtenido de <file:///C:/Users/Estef/Downloads/Indira%20Jackeline%20Chiriboga%20Sisalema.pdf>

CIDEAD. (01 de Agosto de 2009). *Volumen de Cuerpos geométricos*. Obtenido de Recursos Tic: [http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales\\_didacticos/EDAD\\_2eso\\_volumen\\_cuerpos\\_geometricos/2esoquincena10.pdf](http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/EDAD_2eso_volumen_cuerpos_geometricos/2esoquincena10.pdf)

CIDTA. (Junio de 2003). *Características de las aguas residuales*. Obtenido de USAL.ES:  
<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

FAO. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA -LIBRO VI ANEXO 1* . Obtenido de FAO:  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

FAO. (2019). *Contaminación agrícola de los recursos hídricos: Introducción*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s01.htm#TopOfPage>

Flores Méndez, S. A. (Enero de 2011). *Diseño del Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas servidas de la Urbanización San Emilio*. Obtenido de Universidad San Francisco de Quito:  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/608/5/98100.pdf>

Gago Aburto, V. (Agosto de 2010). *Uni*. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/584/1/24810.pdf>

Galeano, L. J., & Rojas, V. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del Municipio de Velez-Santander*. Obtenido de UCatólica:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISEÑO%20DE%20UNA%20PTAR%20PARA%20EL%20%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>

García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E. V., . . . Cortés, G. (5 de Abril de 2004). *El agua revisar fecha*. Obtenido de IDEAM:  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>

Gortaire López, G. (2015). *Udla. edu*. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4528/1/UDLA-EC-TIAM-2015-20.pdf>

- Gortaire, G. (2015). *Pre-diseño y elaboración de planos de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas con tecnología de lodos activados*. Obtenido de UDLA: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4528/1/UDLA-EC-TIAM-2015-20.pdf>
- Inca Teneda, F. J., & Quishpe Pinengla, E. J. (Septiembre de 2011). *Simulación de los flujos permanente y no permanente en sistemas de alcantarillado utilizando el software Hydra 6.4*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4113/1/CD-3864.pdf>
- INEC . (2010). *SNI*. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1702\\_CAYAMBE\\_PICHINCHA.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1702_CAYAMBE_PICHINCHA.pdf)
- INEC. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador*. Obtenido de Ecuador en cifras: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,\\_SANEAMIENTO\\_e\\_HIGIENE.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf)
- INEC. (2019). *Estructura del sector agropecuario,, según el enfoque de las características del productor agropecuario y de las unidades de producción agropecuaria*. Obtenido de Ecuador en cifras: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Estudios/Estudios\\_Economicos/Evolucion\\_de\\_la\\_indus\\_Alimen\\_Beb\\_2001-2006/Estruc\\_Sector\\_Agropecuario.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Estudios/Estudios_Economicos/Evolucion_de_la_indus_Alimen_Beb_2001-2006/Estruc_Sector_Agropecuario.pdf)
- MAE. (2015). *FAO*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- MAE. (2015). *gob.ec*. Obtenido de NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA -LIBRO VI ANEXO 1 : [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)

- Medina Moreno, S., Lucho Constantino, C., Beltrán Hernández, R., Juárez Cruz, B., Vázquez Rodríguez, G., & Lizárraga Mendiola, L. (Octubre de 2015). *Xanum*. Obtenido de Revista Mexicana de Ingeniería Química: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62043088016.pdf>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Metcalf, & Eddy. (2010). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Minambiente. (2017). *Vertimiento y reuso de aguas residuales*. Obtenido de minambiente: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/calidad/vertimientos-y-reuso-de-aguas-residuales>
- Ministerio de Salud. (2006). *Lexis*. Obtenido de <http://www.lexis.com.ec/wp-content/uploads/2018/07/LI-LEY-ORGANICA-DE-SALUD.pdf>
- Morán Villela, D. (Noviembre de 2014). *Universidad Rafael Landívar*. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/14/Moran-Diego.pdf>
- Once Sarmiento , D., & Ruiz Herrera , J. (2014). *Ucuenca*. Obtenido de [dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20923/1/TESIS.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20923/1/TESIS.pdf)
- Pérez, J. (2006). *UNAL*. Obtenido de [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45\\_-\\_4\\_Capi\\_3.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45_-_4_Capi_3.pdf)
- Piedra, S. (2015). *Pre-diseño y elaboración de planos de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas con tecnología de lodos activados*. Obtenido de UDLA: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4528/1/UDLA-EC-TIAM-2015-20.pdf>

- Presidencia de la Republica del Ecuador. (2014). *Agua*. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Pulamarín, L. (1 de Agosto de 2017). Linea Base Agropecuaria. Cantón Cayambe, Pichincha, Ecuador.
- Quijia Molina, F. O. (2015). *Diseños del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de Veracruz, cantón Pastaza, provincia de Pastaza*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15201>
- Ramallo , R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Reina, J. (Abril de 2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia orgánica en un reactor biológico erobio horizontal con medio de soporte pet*. Obtenido de EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>
- Romero Rojas, J. (2005). *Calidad de Agua*. Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2016). *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez San Román, J. F. (Abril de 2013). *Medida de caudales*. Obtenido de Universidad de Salamanca: <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>
- Sánchez, A., & Martínez, R. (2015). *Proporciones y superficies armónicas*. Obtenido de Codicología: <http://codicologia.atspace.cc/contenidos/05Impaginacion/05-04-Proporciones.html>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2019). *Planificación.gob.ec*. Obtenido de <http://www.planificacion.gob.ec/cayambe-y-pedro-moncayo-contaran-con-agua-potable-y-saneamiento-seguro/>

SEMARNAT. (14 de Febrero de 2014). *Agua*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap6\\_agua.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf)

SIAPA. (1 de Mayo de 2016). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades: Alcantarillado Sanitario*. Obtenido de SIAPA: [http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_3.\\_alcantarillado\\_sanitario.pdf](http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf)

SICA. (2008). *Producción de flores en Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3953/4/T-ESPE-IASA%20I-004560.pdf>

Suarez, C. M. (5 de Mayo de 2013). *Medición de caudales (Aforos)*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>

SUIA. (2004). *SUIA*. Obtenido de <http://suija.ambiente.gob.ec/documents/10179/369324/LEY+DE+GESTION+AMBIENTAL.pdf/be20e96d-f07b-4d31-b8d7-9df8291f5115>

Terán, C., & Cando, C. (2016). *Inec*. Obtenido de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2016/Documento%20tecnico%20APA%202016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento%20tecnico%20APA%202016.pdf)

UNISSMA. (4 de Febrero de 2015). *Reglamento Interno de Seguridad y Salud*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

[http://virtual.ups.edu.ec/presencial52/pluginfile.php/165426/mod\\_resource/content/0/Reglamento%20de%20Seguridad%20y%20Salud.pdf](http://virtual.ups.edu.ec/presencial52/pluginfile.php/165426/mod_resource/content/0/Reglamento%20de%20Seguridad%20y%20Salud.pdf)

UPS Cayambe. (1 de Agosto de 2017). Linea Base Agropecuaria. Cantón Cayambe, Pichincha, Ecuador.

Valencia López, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>

Vargas, L. (3 de Febrero de 2005). *Procesos unitarios y Plantas de tratamiento*. Obtenido de Bvsde: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/tres.pdf>

Vidal, G., & Chamorro, S. (Noviembre de 2015). *Tecnologías de tratamiento de agua mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/322851806\\_Tecnologias\\_de\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_mediante\\_lodos\\_activados\\_Observacion\\_microscopica\\_de\\_organismos\\_indicadores](https://www.researchgate.net/publication/322851806_Tecnologias_de_tratamiento_de_agua_mediante_lodos_activados_Observacion_microscopica_de_organismos_indicadores)

WWAP. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo*. Obtenido de UNESCO: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts\\_Figures\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf)

Zebrowski, C. (2014). *Suelos con cangahua en el Ecuador*. Obtenido de horizon: [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/divers2/010012918.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010012918.pdf)



## 8. ANEXOS

*Anexo 1. Fotografías de la investigación realizada.*

### **Foto 1**

*Fosa séptica de la PTAR 1 de la Comunidad de Paquiestancia.*



### **Foto 2**

*Fosa séptica de la PTAR 2 de la Comunidad de Paquiestancia.*





**Foto 3**

*Canal Parshall y fosa séptica la PTAR 3 de la Comunidad de la Paquiestancia.*



**Foto 4**

*Canal Parshall y fosa séptica de la PTAR 4 de la Comunidad de Paquiestancia.*





**Foto 5**

*Fosa séptica y tanque de lodos sin funcionar de la PTAR 4.*



**Foto 6**

*Fosa séptica PTAR 4.*





**Foto 7**

*Fase de campo, toma de muestra de agua residual.*



**Foto 8**

*Muestra de agua residual correctamente envasada para su conservación.*



**Foto 9**

*Análisis de campo, sólidos sedimentables.*



**Foto 10**

*Conos Imhoff con agua residual.*



**Foto 11**

*Turbidímetro.*





**Foto 12**

*Materiales de laboratorio.*



**Foto 13**

*Materiales utilizados en el análisis de laboratorio con muestras de agua residual.*



**Foto 14**

*Equipos de laboratorio utilizados. Incubadora.*



**Foto 15**

*Viales para la medición de DQO.*



**Foto 16**

*Fotómetro.*





**Foto 17**

*Levantamiento topográfico del lugar de implantación de la nueva planta de tratamiento de lodos activos.*

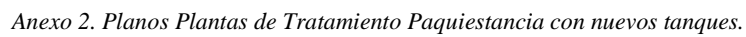


**Foto 18**

*Levantamiento topográfico del lugar de implantación de la nueva planta de tratamiento de lodos activos.*



*GPS.*



*Plano Planta 1 incorporación de nuevos tanques.*



*Plano Planta 2 incorporación de nuevos tanques.*



**CRÓQUIS**

Área de implantación

## PLANO DE TESIS

<b>PROYECTO</b>	Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lodos Activos para la Comunidad Paezantía.		
<b>OBJETIVO</b>	Estructuras y medidas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 1-Incorporación de nuevos tanques.		
<b>UBICACIÓN</b>	Papayantía, Colombia	<b>FECHA</b>	Enero, 2022
<b>ESCALA</b>	1:5000	<b>HOJAS</b>	2
<b>LEGENDA</b>	3 de 3	<b>PROFESOR</b>	Ing. Arcadio Sánchez Trujillo MSc. PhD (C)
		<b>ALUMNO</b>	Expresiones, Ezequiel Lora, Jairo La una Verma Rocio Escobar

**SIMBOLOGÍA**

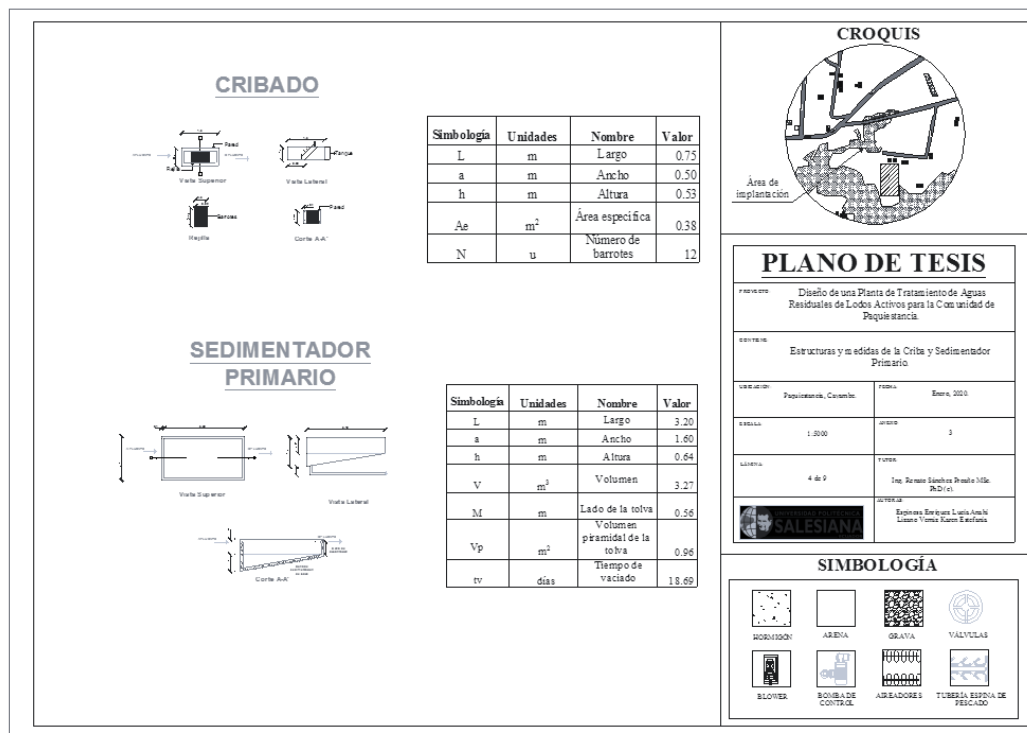
GRASA

VOLUTAS



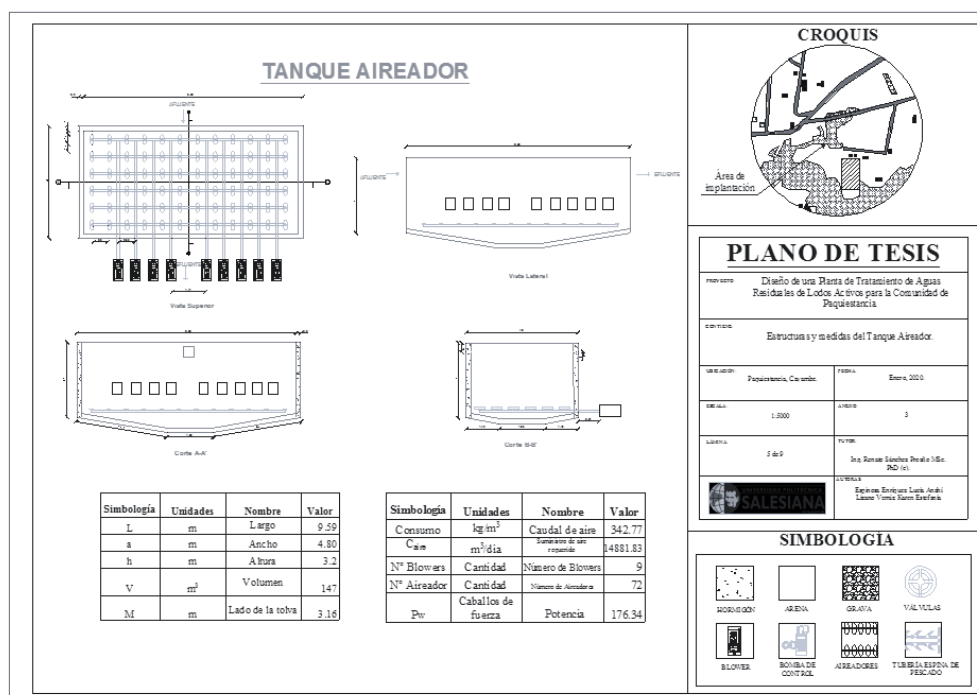
**Figura 25**

*Plano, Criba y sedimentador primario.*



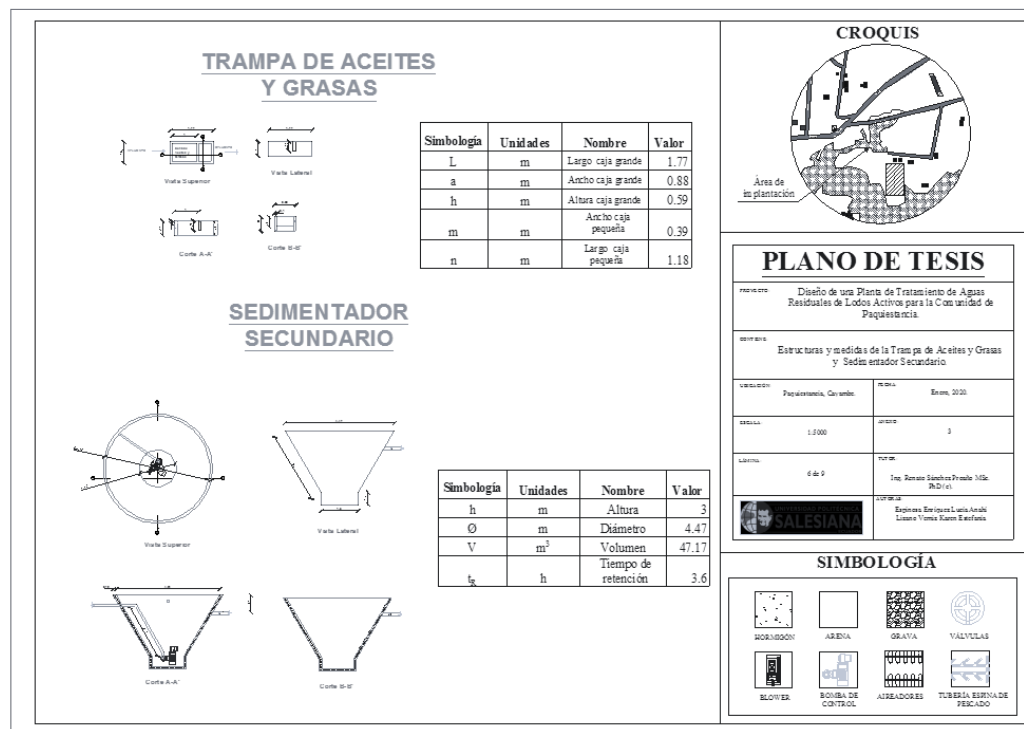
**Figura 26**

*Plano, Sistema de aireación y tanque aireador.*



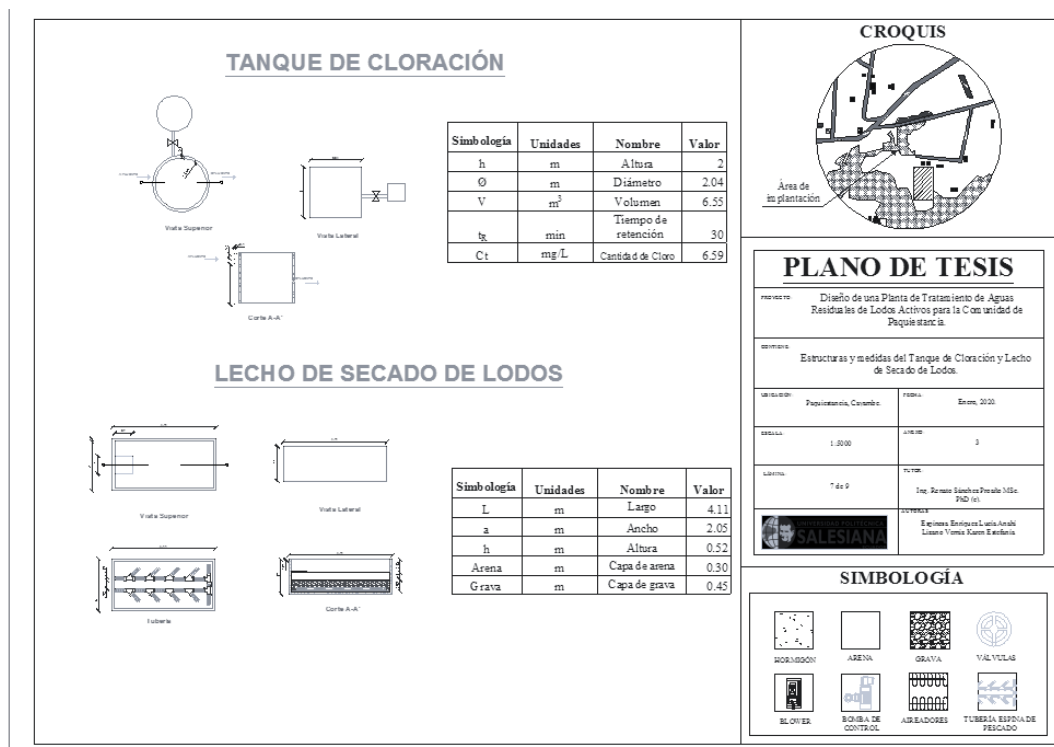
**Figura 27**

*Plano, Trampa de grasas y sedimentador secundario.*



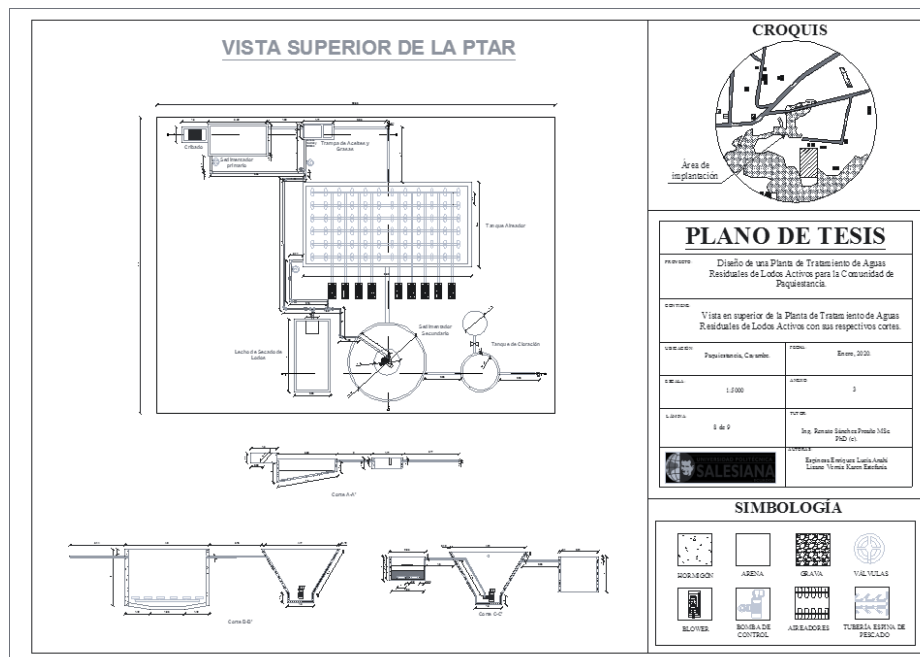
**Figura 28**

*Plano tanque de cloración y lecho de secados.*



**Figura 29**

*Plano de Planta de tratamiento de lodos activos Comunidad Paquiestancia.*



Anexo 4. Plano del perfil topográfico del lugar en donde se construirá la PTAR de lodos activos.

**Figura 30**

*Plano perfil topográfico y flujo de procesos.*

